

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

И. В. Турлай, Г. А. Чернушевич

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУР ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Минск 2007

Турлай, И. В.

Основы моделирования структур лесопромышленных предприятий / И. В. Турлай, Г. А. Чернушевич. – Минск : БГТУ, 2007. – 148 с. – ISBN 978-985-434-721-9.

В монографии приведен анализ тенденций функционирования современных лесопромышленных предприятий, методов расчета и построения структур предприятий. Впервые в такой постановке рассмотрены вопросы исследования, выбора и создания современных рациональных структур лесопромышленных предприятий. Даны обширные характеристики действующих предприятий, которые эксплуатируют различные типы машин и оборудования. Сформулированы задачи расчета рациональных структур лесопромышленных предприятий. Рассмотрены теоретические основы структур таких предприятий, даны примеры расчета с учетом выпускаемого лесопромышленного оборудования и природно-производственных условий, в которых функционируют предприятия.

Подготовленные материалы будут полезны научным сотрудникам, студентам и аспирантам вузов, а также инженерно-техническим работникам предприятий лесопромышленного комплекса.

Табл. 33. Ил. 93. Библиогр. – 26.

Рассмотрена и рекомендована к изданию редакционно-издательским советом Белорусского государственного технологического университета

Рецензенты:

И. И. Леонович заведующий кафедрой строительства и эксплуатации дорог БНТУ, Заслуженный деятель науки и техники Республики Беларусь, академик РАЕН, доктор технических наук, профессор;

В. В. Крахотко доцент кафедры методов оптимального управления БГУ, кандидат физико-математических наук

© Турлай И. В., Чернушевич Г. А., 2007

© УО «Белорусский государственный

ISBN 978-985-434-721-9

технологический университет», 2007

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современные лесопромышленные предприятия представляют собой сложные организационные, технологические и технические комплексы, которые функционируют во взаимодействии с государственными, лесохозяйственными, машиностроительными, финансовыми, транспортными, экологическими и другими структурами.

В современных условиях успех деятельности любого предприятия, в том числе и лесопромышленного, зависит от множества факторов и одним из важнейших является установление рациональной структуры лесопромышленного предприятия с учетом максимально возможного разнообразия факторов: территориальная разобщенность производственных участков заготовки, транспортировки и переработки древесины; неоднородность параметров древостоев; стохастичность характеристик процессов; большая разнотипность применяемого оборудования и систем машин и т. д.

Согласно теории сложных систем, к ним можно отнести и лесопромышленные системы, структуры которых должны формироваться по направлению от объемов производства до производственных участков, их количества и связей со смежными. В настоящее время скорость принятия прогнозируемых решений резко возросла и их утверждение на верхних уровнях становится все менее экономичным по качеству и времени. В этой ситуации структуры лесопромышленных предприятий во многом должны самоорганизовываться снизу.

При написании монографии авторами проанализированы результаты современных научных исследований по данному направлению, выполненные в Белорусском государственном университете, Белорусском национальном техническом университете, лесотехнических вузах Российской Федерации: Московском государственном университете леса, Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии, Воронежской государственной лесотехнической академии и др. Значительный объем работы составляют собственные исследования авторов.

Монография предназначена для научных сотрудников, аспирантов, магистрантов, будет полезна работникам предприятий лесопромышленного комплекса при проектировании

лесопромышленных предприятий, студентам при изучении учебных дисциплин «Моделирование и оптимизация процессов лесозаготовок и транспорта леса», «Проектирование лесозаготовительных предприятий», «Технология и машины лесосечных и лесоскладских работ».

Авторы выражают признательность рецензентам: академику РАЕН, профессору, доктору технических наук, Заслуженному деятелю науки и техники Республики Беларусь И. И. Леоновичу и доценту кафедры методов оптимального управления БГУ, кандидату физико-математических наук В. В. Крахотко за ценные замечания и пожелания по улучшению содержания монографии.

Отзывы и замечания просим направлять по адресу: 220050, г. Минск, ул. Свердлова 13а, учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», кафедра «Лесные машины и технология лесозаготовок».

1. ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ КАК СИСТЕМЫ

1.1. Признаки лесопромышленных систем

Раскрытие содержания, вкладываемого в понятие «лесопромышленная система», необходимо для выбора методологии и аппарата, позиций, с которых следует рассматривать функционирование и пути развития таких систем.

Определению понятия «система» уделялось значительное внимание, однако сформулировать общенаучное определение понятия «система» пока не удалось. Многие авторы пытаются, используя свойство изоформизма, дать общую формулировку, которая позволила бы выделять системы и служила бы основой их исследования. Однако сложность самих лесопромышленных систем, исключительное их многообразие не позволяют получить однозначное, полное и конструктивное определение понятия «система».

Другой подход состоит в выделении крупных классов систем, каждому из которых можно дать вполне практичное определение понятия «лесопромышленная система».

При принятии за основу второй точки зрения необходимо учесть, что определение понятия «система» будет зависеть от позиции исследователя и пользователя.

Постановка вопроса об определении понятия «система» обусловлена важностью, поскольку если при исследовании лесопромышленных систем авторами преследуются частные цели, то тогда либо нет нужды анализировать понятие «система», либо ее выделение производится неверно.

Если абстрагироваться от конкретности лесопромышленных систем, то под «системой» понимается множество взаимосвязанных элементов, каждый из которых связан прямо или косвенно с каждым другим элементом, а два любые подмножества этого множества не могут быть независимы.

В нашем случае рассмотрению подлежат лесопромышленные системы, которые выполняют комплекс операций, начиная от заготовки древесины и заканчивая отгрузкой лесоматериалов потребителю. При выполнении такой задачи в лесопромышленной системе взаимодействует значительное количество элементов, различных по типу и выполняемым функциям. Компоненты

лесопромышленной системы (ЛС) будут как материальные (предметы труда, машины, энергетические ресурсы и т. д.), так и идеальные (люди).

Выделяют следующие *особенности* лесопромышленной системы:

1. Невозможность полной формализации ЛС. В составе ЛС функционируют технологически различные производства и службы: обрабатывающие, транспортные, вспомогательные, финансовые, управляющие. Взаимосвязи между ними носят как строго определенный, так и «плавающий» характер.

На всех этапах элементы ЛС включают и преобразуют специфичный предмет труда – дерево и его производные. Немаловажным фактом является то, что задача полной формализации ЛС имеет весьма большую размерность. Так, например, при формализации лесосечных работ приходится рассматривать более 90 факторов.

Попытки формализации отдельных систем (подсистем), входящих в ЛС, более или менее успешные, предпринимались целым рядом исследователей [1–5]. Отметим, что для достижения успеха в формализации и разрешении таких подсистем авторами названных работ уменьшалась размерность задач и снижалась их иерархия.

2. Непостоянство функционирования ЛС. Со временем ЛС развивается в своей структуре, связях, свойствах. Одним из важнейших факторов непостоянства функционирования ЛС является изменчивость их лесосырьевых баз и внешних факторов.

Отсюда вытекает необходимость постоянной адаптации технологии, транспортной сети, сортиментных планов и других важных элементов производственного процесса в ЛС к условиям среды.

Другим важным фактором является сложное воздействие технического прогресса на ЛС. Оно вызывает обязательные, не всегда прогнозируемые изменения всех элементов ЛС. Например, появление агрегатных валочных, валочно-пакетирующих, валочно-трелевочных машин, харвестеров вызвало существенные сдвиги в технологии, экономике, кадровой политике.

Непостоянство функционирования порождается и воздействием внешней среды. Например, переориентация на потребителей, общегосударственные интересы: использование подвижного состава Министерства путей сообщения с приоритетом для сельского хозяйства и т. д.

3. ЛС ориентированы на неустойчивый набор целей.

Присутствует много критериев в управлении ЛС. И тут же следует отметить существование постоянных противоречий в ряду целей ЛС.

Неустойчивый набор целей означает не только их колебание по величине, но и, прежде всего, их многочисленность. Ибо достигнуть всех заданных целей в ЛС бывает весьма проблематично. Действительно, современные лесопромышленные предприятия, которые рассматриваются как ЛС, вынуждены работать на выполнение таких целей, как план по объему продукции, реализации, номенклатуре, фонду заработной платы, экономии горюче-смазочных материалов (ГСМ) и электроэнергии; коэффициенты использования оборудования; рост производительности труда; внедрение новой техники и др. Такой список целей содержит и противоречивые критерии, которые совместить не удастся.

Результатом большого списка целей является многокритериальность в управлении ЛС. Критерии, используемые в управлении ЛС, зачастую не увязываются, так как они оценивают процессы достижения разных целей, либо увязка происходит из-за отсутствия хорошей методики. Например, себестоимость 1 м³ добытой древесины и экономия ГСМ. Строгой же регламентации критериев по приоритету нет; она (регламентация), как правило, основывается на интуитивном решении руководства ЛС. Поэтому объем производства и себестоимость предпочтительны коэффициенту использования, хотя последний сказывается на объеме продукции и себестоимости. Требуется строго научное обоснование приоритета критериев, действующих в ЛС.

4. Наличие в составе ЛС двух принципиально разных компонентов: материальных и идеальных (работники). Те и другие функционируют по различным законам, обладают различной свободой поведения в рамках ЛС.

Рассматривая производственный процесс в ЛС от лесосечных работ до отгрузки лесоматериалов потребителю, заметим, что чем дальше мы двигаемся от места добычи древесины (у пня), тем большую роль играют идеальные компоненты, которые обладают свободой действий в ЛС.

Экономисты определяют эту степень увеличения влияния идеальных компонентов как повышение доли общественного труда в лесоматериале.

Представляется важным уяснение соотношения и места материальных и идеальных компонентов в ЛС (рис. 1.1).

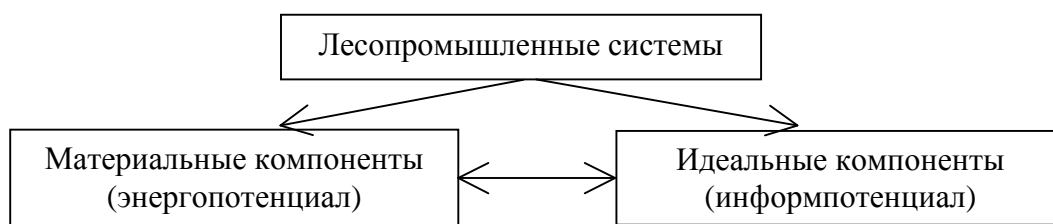


Рис. 1.1. Схема взаимодействия компонентов лесопромышленных систем

Материальные компоненты ЛС определяют скорость функционирования и развития ЛС, а идеальные – их направление. Если по первой части формулы нет сомнений, она очевидна, то расшифровка второй необходима. Она может быть интерпретирована как «информация – есть мера распределения материи и энергии в пространстве и времени» [6].

1.2. Свойства лесопромышленных систем

1.2.1. Целостность лесопромышленных систем. При всем многообразии задач, решаемых различными ЛС, можно и необходимо установить свойства для их классификации и анализа.

Целостность – это свойство, появляющееся в процессе взаимодействия элементов в ЛС. Образование же этих элементов в ЛС идет по критерию их отношения к выполнению функции ЛС, сводящейся к обеспечению народного хозяйства древесиной и продуктами из нее.

Целостная система, каковой предполагается ЛС, должна состоять из необходимых элементов. Одновременно это условие исключает присутствие лишних, не участвующих в достижении функции ЛС частей. Выполнение заданной функции ЛС предполагает получение ощутимых результатов, которые всегда можно наблюдать.

Однако соединение множества необходимых и избыточных элементов не создает ЛС, для этого требуется их упорядоченное в смысле достижения функции взаимодействие.

Действительно, если имеем такие элементы (подсистемы) ЛС, как валка, трелевка, погрузка, то расположение их в любом другом порядке лишено всякого практического смысла, хотя набор элементов остался неизменным.

1.2.2. Функции лесопромышленных систем. Задачей каждой ЛС является достижение функции либо функций. Они известны и изложены ранее. В то же время составные элементы выполняют свои локальные функции. Тогда характеристики функций

элементов и результаты их работы будут внутренними по отношению к ЛС. Например, функция очистки стволов от сучьев является внутренней в ЛС.

Поэтому частные характеристики неправомерно рассматривать в качестве выходных характеристик ЛС. Такой подход известен как метод «черного ящика» [2, 3]. Принятие его в том значении, которое он олицетворяет, значило бы сильно упростить деятельность ЛС. Однако на определенном этапе целесообразно осуществить подобное упрощение. Для ЛС важен не только такой выходной параметр подсистемы, как погрузка – объем отправленной из лесосеки древесины во времени, но и процесс погрузки деревьев, хлыстов, сортиментов.

Результатом функционирования ЛС является товарная продукция (лесоматериалы), обладающая экономическими, социологическими и другими параметрами, которые образуют непустое множество R из действительных характеристик и результатов r_1, r_2, \dots, r_n .

Изложенное позволяет заключить следующее:

а) перечень функций ЛС является основополагающим и отправным моментом всякого анализа, далее следует перечень функций элементов и подсистем ЛС, а также отношений между частными функциями элементов и функциями ЛС;

б) структура и состав элементов ЛС определяются на второй стадии анализа с учетом того, что они подчиняются условию соблюдения целостности ЛС.

Такая схема будет верной, так как структура и состав ЛС характеризуются выполняемыми функциями и отношениями между ними.

1.2.3. Цель лесопромышленных систем. Цель следует считать самым высоким понятием и свойством в иерархии понятий, которые определяют ЛС и ее функционирование. Понятие цели представляется комплексным, вбирающим в себя ряд более простых. Понятие цели сформулировано различными исследователями [2, 3]. Их анализ позволяет сформулировать для ЛС цель функционирования как стремление к достижению прогнозируемого и ожидаемого состояния ЛС, которое будет характеризоваться наблюдаемыми результатами (объем производства, последствия деятельности).

Тогда функция ЛС будет определяться целью, ради которой организуется ЛС. Сама же функция станет подчиненной по отношению к цели функционирования ЛС.

Определение целей ЛС является процессом выработки решения.

Ибо после того, как сформулирована цель, предстоит выбрать средства ее достижения. Цель функционирования ЛС должна быть конкретной и определяться так, чтобы можно было оценивать эффективность ЛС.

Рассматривая ЛС, мы, как правило, сталкиваемся с многокомпонентными целями двух классов:

- 1) ЛС имеет ряд целей, взаимно дополняющих друг друга;
- 2) ЛС обладает несколькими целями, но они не взаимодополняемы.

Во втором случае определение составной цели значительно сложнее, и четких рекомендаций по решению такой задачи нет. В некоторой степени здесь будет полезен подход, изложенный в работах [2, 3] по достижению результата на множестве критериев.

Рассмотрим вопрос фиксации цели в ЛС. В силу постоянно изменяющихся внешних условий и самой ЛС достижение абсолютной цели невозможно. Действительно, достижение полного удовлетворения нужд отраслей народного хозяйства в лесоматериалах и изделиях из древесины одновременно при минимальных затратах будет постоянно оставлять возможность ЛС совершенствоваться. Отсюда достижение цели ЛС относительно и динамично. Нет и не может быть заранее разработанных нормативных показателей, по достижению которых отпадает необходимость в дальнейшем совершенствовании ЛС.

1.2.4. Стабильность лесопромышленных систем. ЛС являются открытыми системами, взаимодействующими с внешней средой. Воздействия внешней среды могут помогать достижению цели ЛС, а могут мешать. Значительное число переменных внешней среды, большой диапазон их значений порождают множество состояний ЛС. Достижение же целей функционирования осуществимо лишь на некоторых из этого множества состояний. Такие состояния можно определить как устойчивые, а функционирование ЛС в этих состояниях – стабильное.

Очевидно, что вся деятельность ЛС будет осуществляться так, чтобы ЛС работала стабильно, чтобы все связи – производственные, технологические, экономические, информационные и организационные – были устойчивыми.

Особая роль в создании стабильных ЛС принадлежит внутренним и внешним связям.

Внешние связи определяют место данной ЛС в народном хозяйстве страны.

Внутренние связи формируются исходя из целей, функций и целостности ЛС. На уровне ЛС основному рассмотрению подлежат

внутренние связи, а внешние только устанавливают их роль в функционировании ЛС.

Влияние внешней среды на ЛС в значительной мере стохастично, поскольку факторы зачастую случайны, труднопрогнозируемы, поэтому устойчивых состояний ЛС будет несколько. Диапазон состояний стабильности ЛС должен устанавливаться с учетом вероятностной природы возмущающих факторов и процесса их воздействия на ЛС.

1.3. Методология исследования лесопромышленных систем

Принципы исследования ЛС основаны на методологии изучения сложных систем. ЛС – совокупность необходимых и достаточных элементов, объединенных в целостное образование (ЛС) с целью выполнения функций по обеспечению народного хозяйства лесоматериалами. Следовательно, ЛС рассматривается как целое.

Общим началом, которое позволяет объединить различные научные направления для создания основ теории ЛС, является использование принципа целостности ЛС и принципа однозначного сходства между ЛС относительно их структуры, взаимодействия между элементами (подсистемами ЛС), между ЛС и внешними системами.

Рассмотрим ряд подходов к формализации лесопромышленных систем.

Одним из подходов является создание системы моделей. Заметим, что это в корне отлично от комплекса моделей. Подобная система моделей иллюстрируется схемой (рис. 1.2).

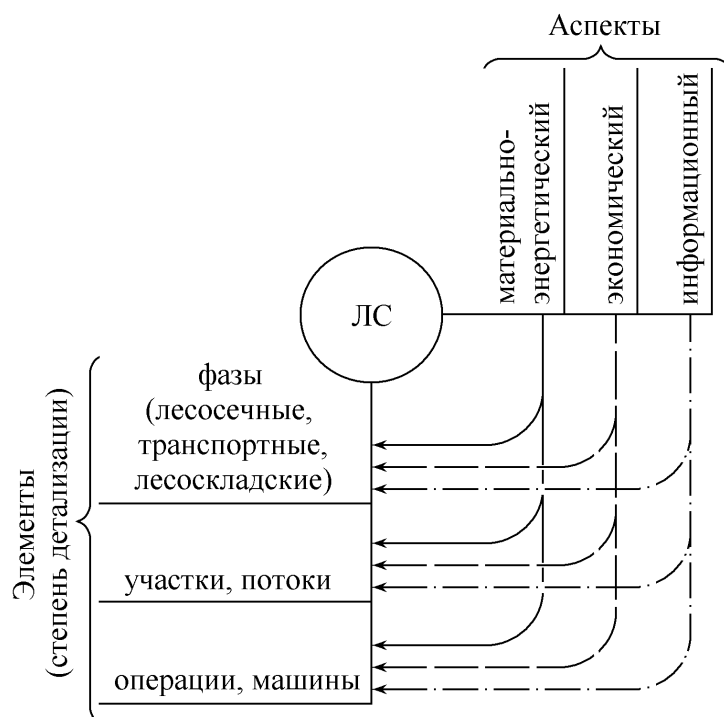


Рис. 1.2. Система моделей лесопромышленных систем

Степень детализации при выделении элементов ЛС зависит от решаемых задач и места исследователя. Эти же мотивы являются руководящими при рассмотрении аспектов.

Каждый из элементов ЛС несет в себе три крупных аспекта:

- 1) материально-энергетический (это собственно «жизнедеятельность» технологических процессов лесозаготовок);
- 2) экономический (эффективность функционирования элементов ЛС);
- 3) информационный (явления получения, преобразования, передачи и хранения информации).

Полнота представления указанных аспектов зависит от решаемых задач.

Другим отличным подходом к исследованию ЛС может явиться разработка структурно-динамической модели. В этом случае модель ЛС будет представлять собой граф всех возможных путей и состояний в ЛС с отражением вероятностных свойств самой ЛС и ее составных элементов, а также динамических характеристик процессов в ЛС.

Анализ ЛС на ее структурно-динамической модели имеет две особенности.

Во-первых, предоставляет возможность очертить и рассматривать лишь необходимые и важные свойства ЛС.

Во-вторых, мы получаем более общие результаты, позволяющие

охватить значительный круг возможных ЛС.

Соответствие пространственно существующей ЛС структурно-динамической модели показано на рис. 1.3.

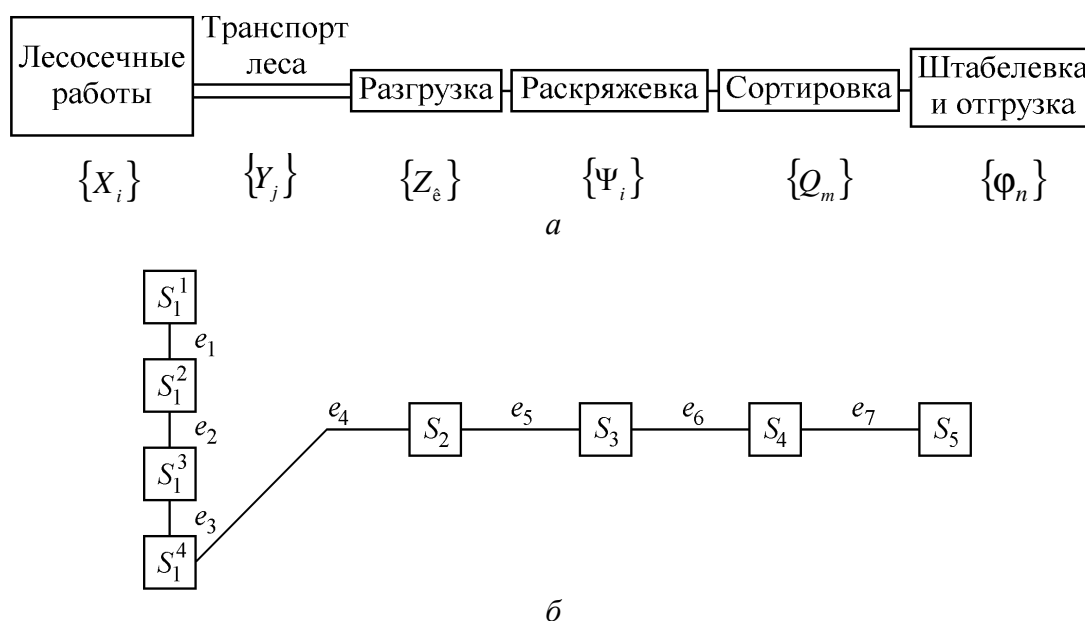


Рис. 1.3. Лесопромышленная система:
а – реальная модель; б – структурно-динамическая модель

Структурно-динамическая модель содержит только два разнородных элемента: вершины (участки, машины, операции) и ребра (транспортные артерии), соединяющие вершины в ЛС.

Адекватность теории ЛС реально действующим ЛС – одно из тех необходимых свойств, отсутствие или неполнота которых не позволяет с помощью такой теории исследовать интересующую нас ЛС.

Теория функционирования ЛС должна позволить решать проблемы, возникающие в ЛС.

Постановка вопроса в такой интерпретации, т. е. определение проблем ЛС в целом их комплексе, а не частных, хотя и важных вопросов, необходима по ряду причин.

Во-первых, многолетний опыт проектирования и работы лесопромышленных предприятий показал на наличие существенных просчетов, что выражается в настоящее время в низкой рентабельности лесозаготовительных систем.

Во-вторых, само функционирование ЛС и их конструирование вытягивают целую цепочку смежных вопросов с любым рассматриваемым. Метод же «отсекания», широко используемый на

практике, упрощает решения, позволяет получать их за счет точности и нерешенных вопросов.

В-третьих, совершенствование отдельных элементов в ЛС без разрешения всей проблемы не дает существенного улучшения дел.

Под проблемой будем понимать наличие расхождения между желаемым и реализованным на настоящий момент состоянием ЛС.

Проблема ЛС характеризуется источником ее появления и ее восприятием.

Источниками проблем в ЛС могут быть:

1. Неверно принятые ранее решения. Так, например, принятие решения о выпуске трелевочного трактора ТДТ-55, явно не экономичного и узкого в смысле возможности создания на его базе семейства машин, породило проблему разработки перспективной базовой машины для лесоразработок.

2. Ошибочно выбранные интервалы для реализации принятых решений. Отметим, что в этом случае решения не являются ошибочными. Например, поточные линии с продольным перемещением хлыста в исполнении ЛО-15 исчерпали себя раньше, и очень остро стала проблема создания эффективных установок для раскряжевки хлыстов.

3. Изменение представлений о желаемом состоянии ЛС в целом либо ее подсистем. Действительно, в каждой ЛС идет и будет идти динамичный процесс усваивания информации, развития производства и его прогнозирования.

4. Директивные вмешательства вышестоящих и смежных организаций в функционирование ЛС. Например, запрещение вывозки деревьев по дорогам общего пользования породило проблему использования сучьев на лесосеке и создания мобильных сучкорезных машин. В настоящее время основное внимание уделено разрешению лишь части проблемы, а именно выпуску процессоров и харвестеров.

5. Ошибочное создание проблемы в самой ЛС. Данный источник возникновения проблем рассматривается с целью полного охвата всевозможных типов источников проблем. Однако он встречается редко, например, когда в ЛС не способны грамотно решать вопросы организации технологического процесса. Зачастую создание систем машин на лесосечных работах из технологически несовместимых машин порождает проблему эффективного производства лесосечных работ (бензомоторные пилы и бесчokerные трелевочные тракторы).

1.4. Классификация лесопромышленных систем

В основу классификации ЛС положено представление ЛС в виде графов, в которых источники поступления предметов труда (деревья, хлысты, сортименты), мастерские участки или бригады, нижние склады обозначены вершинами, а транспортные артерии с перемещаемыми предметами труда – ребрами (рис. 1.4).

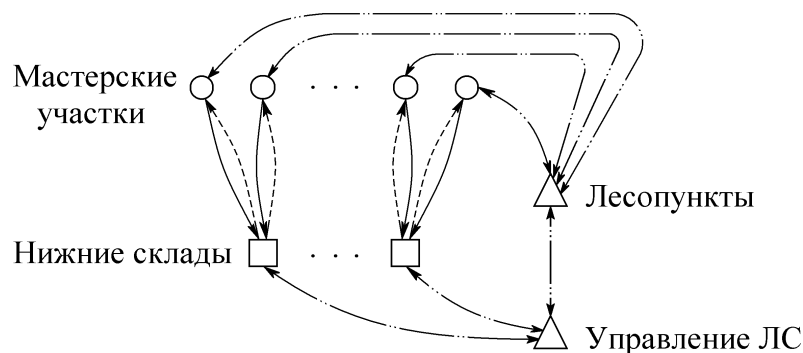


Рис. 1.4. Граф для лесопромышленной системы:
 ————— потоки предметов труда;
 потоки порожних транспортных средств;
 -.-.-.- потоки информации (информативные связи)

Объектами классификации на данной стадии исследования являются структуры промышленных предприятий (как действующих, так и новых) различной мощности, типа и функционального назначения, совмещающие заготовку древесины, транспортировку и ее обработку. Степень детализации ЛС при представлении ее графами может быть различной.

Рассмотрим разработку структур ЛС на уровне производств: лесосечные работы, транспорт леса, нижнескладские работы. Проведем анализ ЛС, базирующихся на автомобильной вывозке леса. Типы предприятий, их комплексность и объемы производства на данной стадии опускаются. Они будут определены после установления структуры ЛС на заданном множестве количественных данных, определенных заданием на создание ЛС.

1.5. Структура лесопромышленных систем вида I

Тип I₁. Мастерские участки (МУ) как источники деревьев, хлыстов, сортиментов работают на один нижний склад (НС), причем транспортные артерии не дублированы (рис. 1.5).

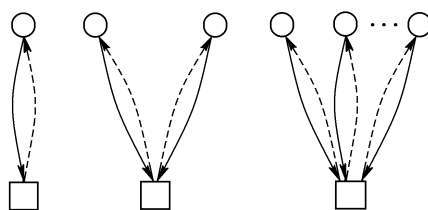


Рис. 1.5. Структура ЛС типа I_1 :

— движение автопоездов с древесиной с мест заготовки;
 ---- движение автопоездов в порожнем состоянии к местам заготовки древесины.

Начиная с рис. 1.8, движение автопоездов стрелками не указано

Тип I_2 . Мастерские участки обслуживают два нижних склада, не взаимодействующих друг с другом через потоки автопоездов с лесом и порожних (рис. 1.6).

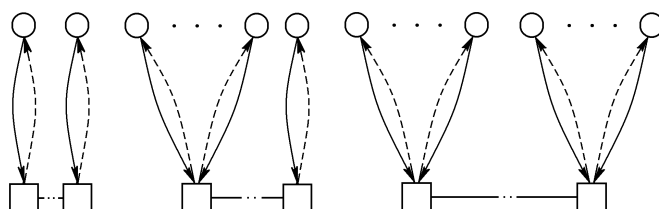


Рис. 1.6. Структура ЛС типа I_2

Тип I_3 . Мастерские участки обслуживают три нижних склада, не взаимодействующих между собой.

Тип I_4 . Мастерские участки обслуживают четыре нижних склада без взаимодействия, дублирования транспортных артерий, но в рамках одной ЛС (рис. 1.7).

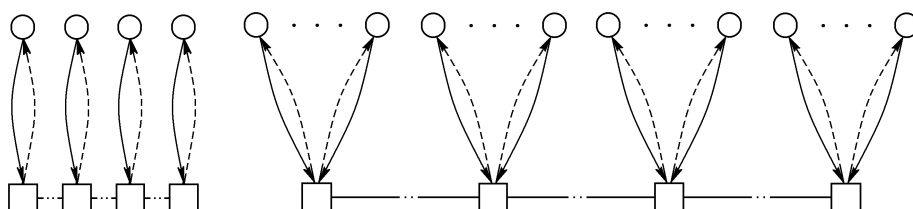


Рис. 1.7. Структура ЛС типа I_4

Возможно дальнейшее развитие систем типа I_j с увеличением числа нижних складов в ЛС. По каждому из типов предполагается, что количество участков заготовки древесины равно i .

1.6. Структура лесопромышленных систем вида II

Тип II_1 . Мастерские участки обслуживают один нижний склад с частичным дублированием транспортных связей, т. е. вывозка от

одного или нескольких мастерских участков (бригад) по заготовке древесины возможна по двум лесовозным путям (рис. 1.8).

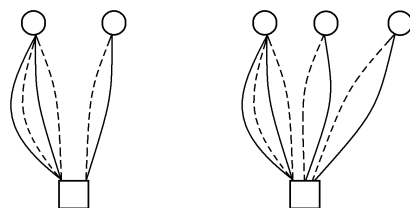


Рис. 1.8. Структура ЛС типа Π_1

Тип Π_2 . Мастерские участки обслуживают два нижних склада с частичным дублированием по транспорту леса. Практически это возможно и при достижении вывозки на два нижних склада с одного мастерского участка (рис. 1.9).

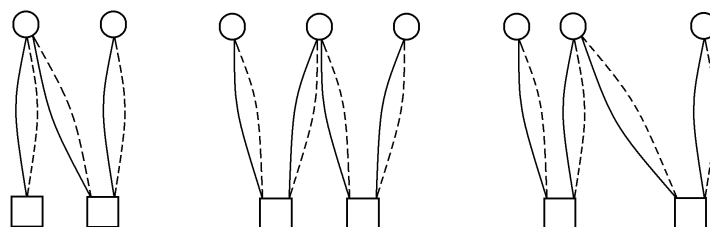


Рис. 1.9. Структура ЛС типа Π_2

Тип Π_3 . Мастерские участки обслуживают три нижних склада с частичным дублированием по транспорту леса (рис. 1.10).

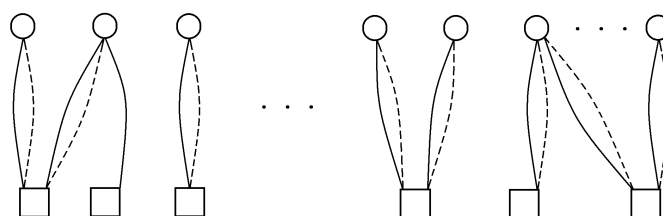


Рис. 1.10. Структура ЛС типа Π_3

Тип Π_4 . Мастерские участки обслуживают четыре нижних склада с сохранением возможности вывозки с одного мастерского участка на два нижних склада (рис. 1.11).

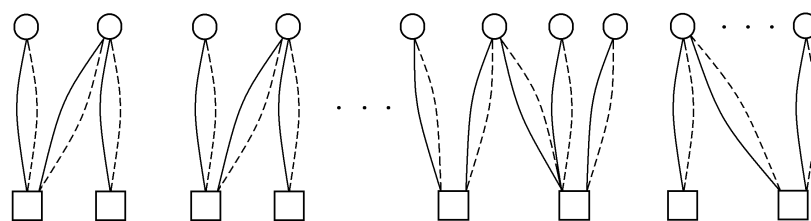


Рис. 1.11. Структура ЛС типа Π_4

Дальнейшее развитие типизации будет идти путем увеличения числа нижних складов и мастерских участков в ЛС типа Π_j , причем в общем случае количество участков заготовки составляет i , лесовозных дорог – m .

1.7. Структура лесопромышленных систем вида III

ЛС рассматриваемого вида характеризуются полностью дублируемыми связями, что практически возможно при создании условий, когда каждый мастерский участок может отправлять древесину как минимум на два нижних склада. Причем один будет основным потребителем, а второй закреплен на случай отказа первоначальной транспортной артерии, либо недостачи сырья на втором складе.

Тип III₁. Мастерские участки ЛС обслуживают один нижний склад (рис. 1.12).

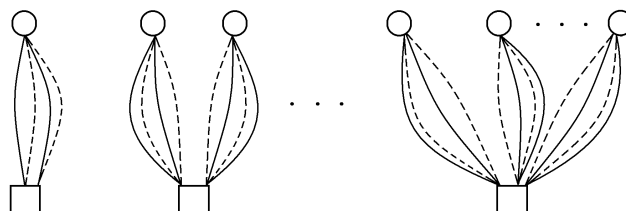


Рис. 1.12. Структура ЛС типа III_1

Тип III₂. Мастерские участки обслуживают два нижних склада (рис. 1.13).

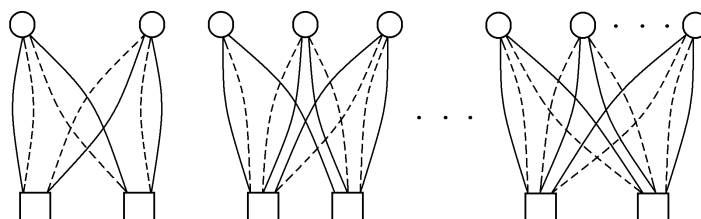


Рис. 1.13. Структура ЛС типа III_2

Тип III₃. Мастерские участки обслуживают три нижних склада (рис. 1.14).

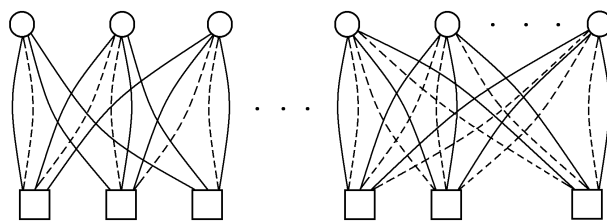


Рис. 1.14. Структура ЛС типа III_3

Тип III_j . В этом случае i мастерских участка обслуживают j нижних складов (рис. 1.15).

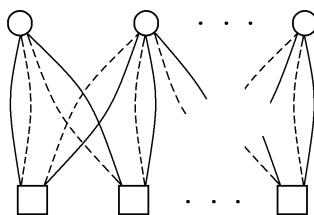


Рис. 1.15. Структура ЛС типа III_j

1.8. Структура лесопромышленных систем вида IV

Рассматриваем ЛС, в которой деревья доставляются вначале на промплощадку, где осуществляется очистка стволов от сучьев, переработка последних и погрузка хлыстов на лесовозный транспорт. Переработка хлыстов ведется на нижних складах.

Дублирование транспортных связей отсутствует.

Тип IV_1 . Мастерские участки обслуживают через одну промплощадку один нижний склад (рис. 1.16).

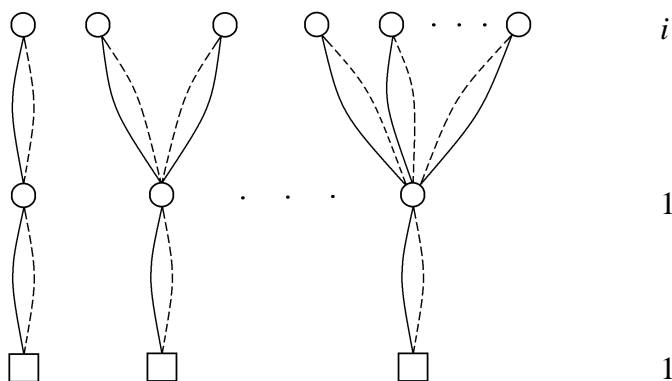


Рис. 1.16. Структура ЛС типа IV_1

Тип IV_2 . Мастерские участки обслуживают через две промплощадки один нижний склад (рис. 1.17).

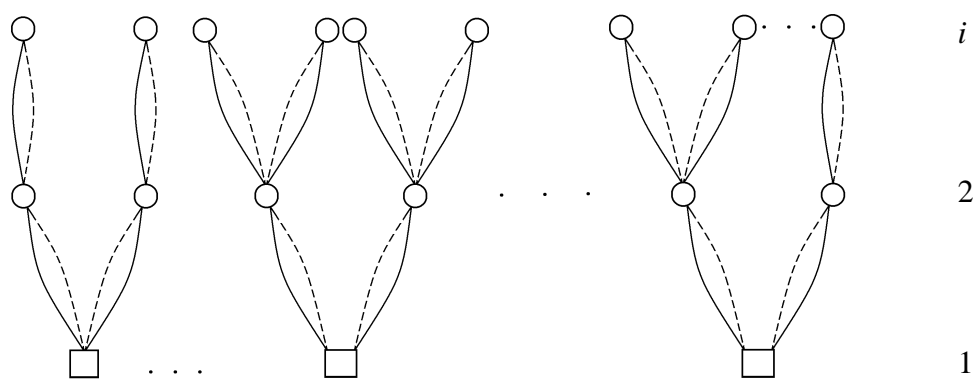


Рис. 1.17. Структура ЛС типа IV_2

Тип IV_3 . Мастерские участки обслуживают через три промплощадки один нижний склад (рис. 1.18).

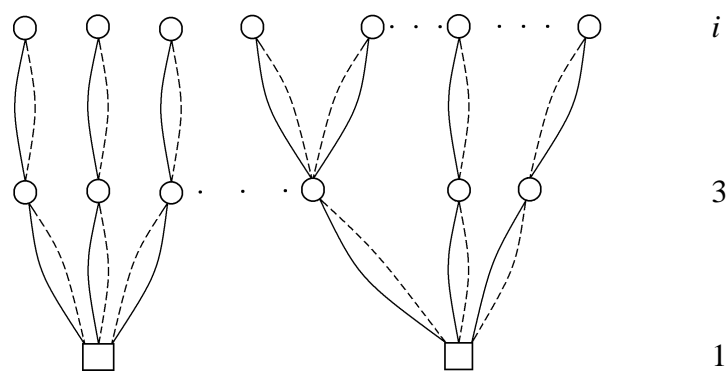


Рис. 1.18. Структура ЛС типа IV_3

Тип IV_i . Мастерские участки обслуживают через k промплощадок один нижний склад (рис. 1.19).

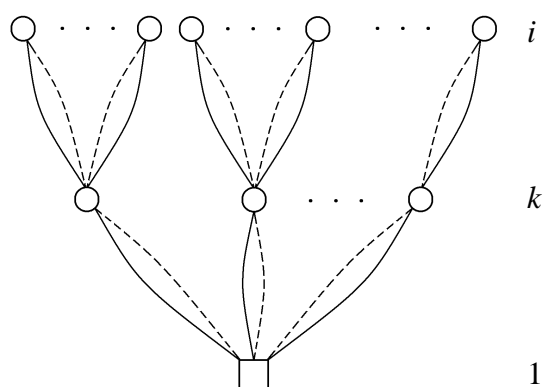


Рис. 1.19. Структура ЛС типа IV_i

1.9. Структура лесопромышленных систем вида V

Условия работы аналогичны системам типа IV_i с возможностью частичного дублирования транспортных связей.

Тип V_1 . Мастерские участки обслуживают через одну промплощадку один нижний склад (рис. 1.20).

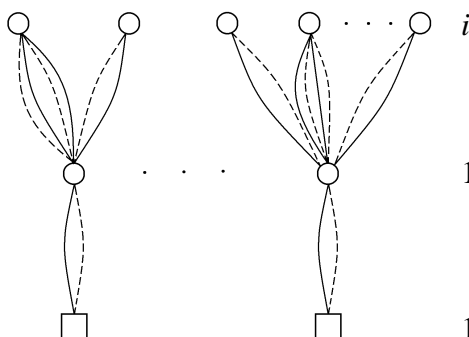


Рис. 1.20. Структура ЛС типа V_1

Тип V_2 . Мастерские участки обслуживают через две промплощадки один нижний склад (рис. 1.21).

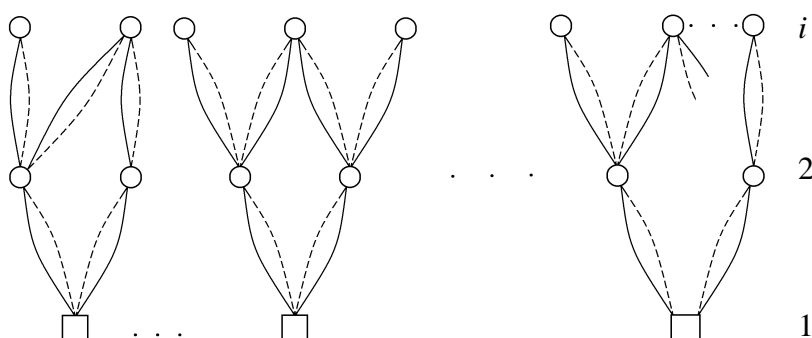


Рис. 1.21. Структура ЛС типа V_2

Тип V_3 . Мастерские участки обслуживают через три промплощадки один нижний склад (рис. 1.22).

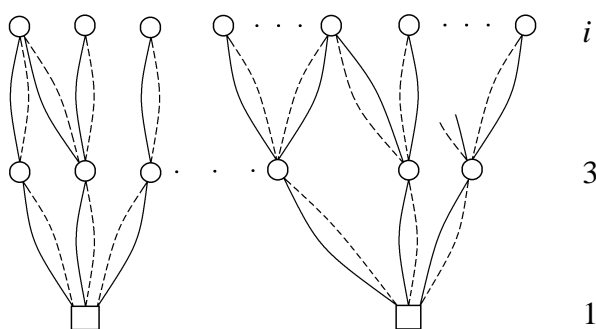


Рис. 1.22. Структура ЛС типа V_3

Тип V_k . Мастерские участки в количестве i обслуживают через k

промплощадок один нижний склад (рис. 1.23).

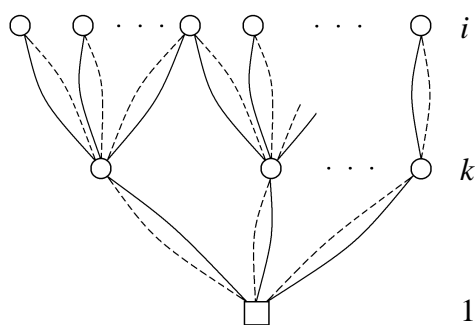


Рис. 1.23. Структура ЛС типа V_k

1.10. Структура лесопромышленных систем вида VI

Условия работы рассматриваемых систем аналогичны ЛС вида IV с дополнением в виде полного дублирования транспортных связей. На практике такое дублирование представлено возможностью мастерских участков отправлять древесину по двум транспортным путям.

Тип VI₁. Мастерские участки обслуживают один нижний склад через одну промплощадку (рис. 1.24).

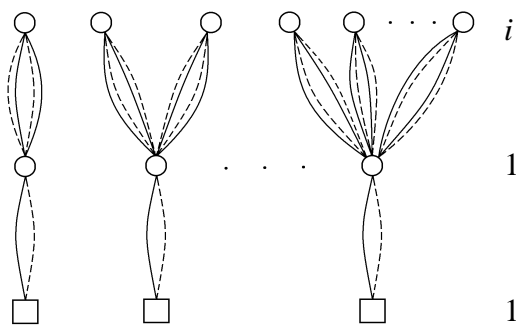


Рис. 1.24. Структура ЛС типа VI₁

Тип VI₂. Мастерские участки обслуживают один нижний склад через две промплощадки (рис. 1.25).

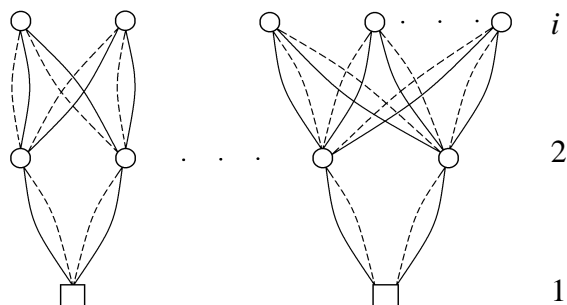


Рис. 1.25. Структура ЛС типа VI₂

Тип VI₃. Мастерские участки обслуживают один нижний склад

через три промплощадки (рис. 1.26).

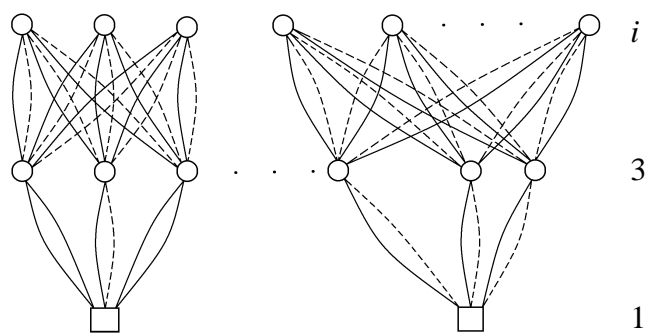


Рис. 1.26. Структура ЛС типа VI_3

Тип VI_k . Мастерские участки в количестве i через k промплощадок обслуживают один нижний склад (рис. 1.27).

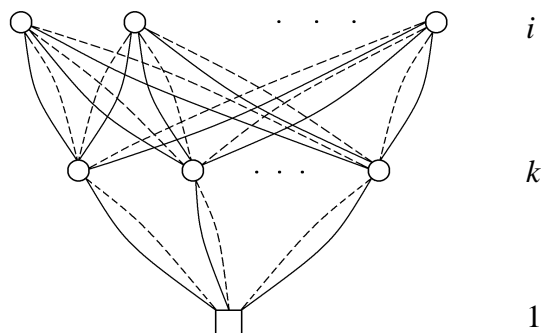


Рис. 1.27. Структура ЛС типа VI_k

1.11. Структура лесопромышленных систем вида VII

Системы рассматриваемого вида представляют собой развитие ЛС типа IV_k , так как число нижних складов равно двум.

Тип VII_1 . Мастерские участки обслуживают два нижних склада через одну промплощадку (рис. 1.28).

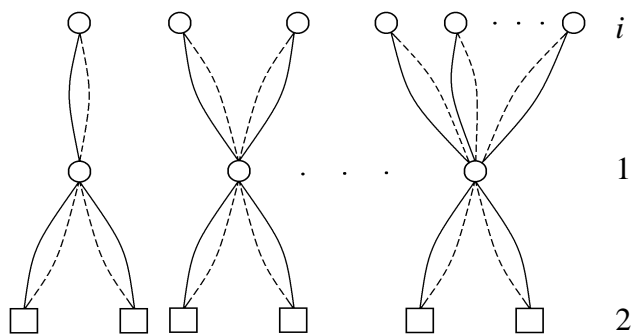


Рис. 1.28. Структура ЛС типа VII_1

Тип VII_2 . Мастерские участки обслуживают два нижних склада

через две промплощадки (рис. 1.29).

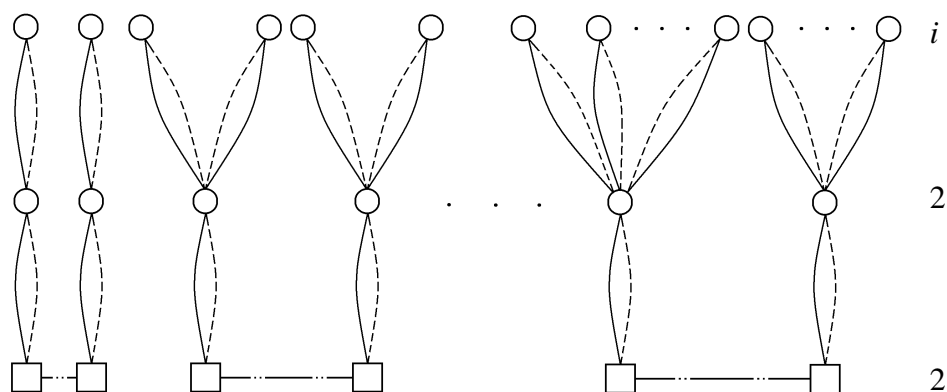


Рис. 1.29. Структура ЛС типа VII₂

Тип VII₃. Мастерские участки обслуживают два нижних склада через три промплощадки (рис. 1.30).

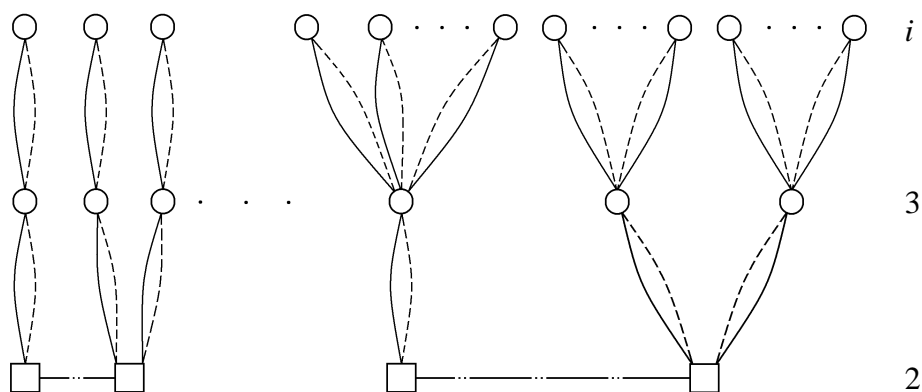


Рис. 1.30. Структура ЛС типа VII₃

Тип VII_i. Мастерские участки в количестве i снабжают древесиной два нижних склада через k промплощадок (рис. 1.31).

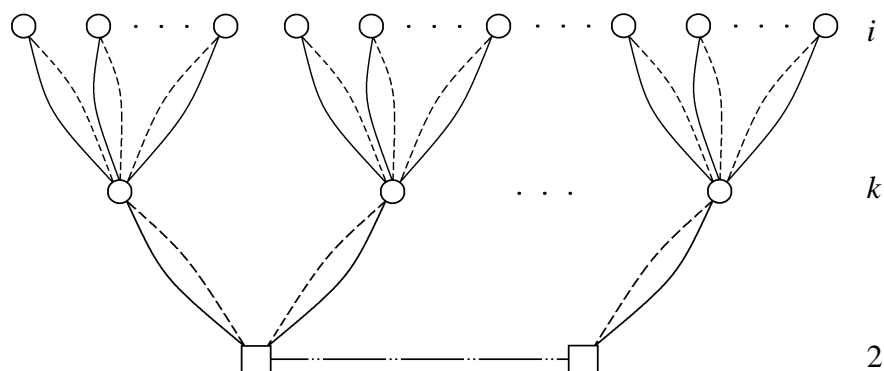


Рис. 1.31. Структура ЛС типа VII_i

1.12. Структура лесопромышленных систем вида VIII

Система **вида VIII** аналогична ЛС вида V путем увеличения числа нижних складов до двух. Общая схема, из которой получится любая конкретная структура ЛС при наложении ограничений на число мастерских участков i и промплощадок k , дана ниже (рис. 1.32).

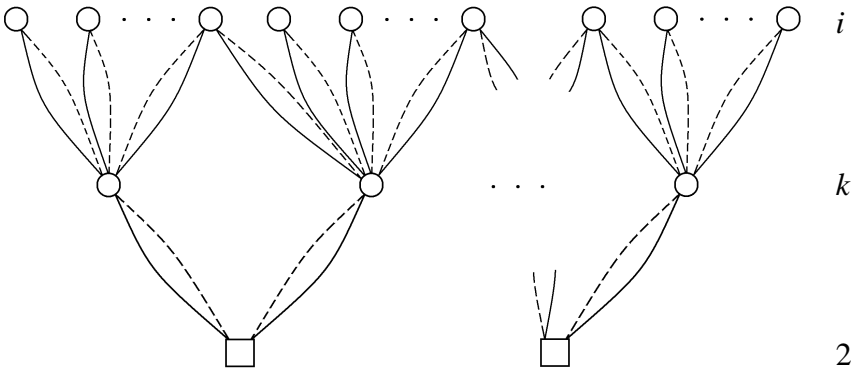
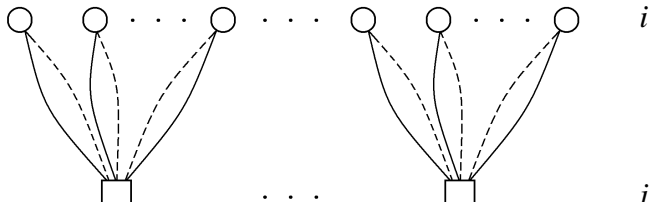
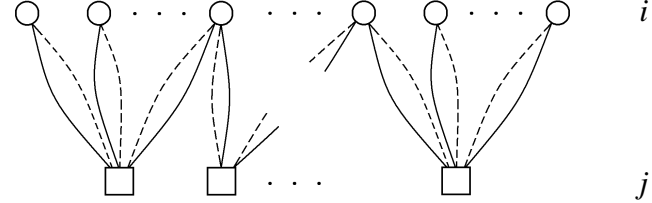
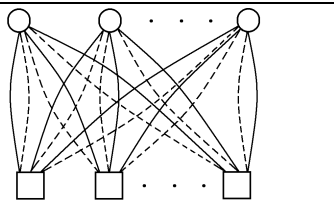


Рис. 1.32. Структура ЛС типа VIII_i

1.13. Общие структуры лесопромышленных систем

Приведенные схемы ЛС различных видов позволяют составить общую классификацию ЛС (таблица).

Таблица

Виды структур ЛС		
Вид ЛС	Структура ЛС	Число элементов в ЛС
I		$i \geq 1$ $j \geq 1$
II		$i \geq 1$ $m \geq 1, m > i$ $j \geq 1$
III		$i \geq 1$ $m \geq 2, m > i$ $j \geq 1$

Вид ЛС	Структура ЛС	Число элементов в ЛС
IV		$i \geq 1$ $m_1 \geq 1$ $k \geq 1$ $m_2 \geq 1$ $j \geq 1$
V		$i \geq 1$ $m_1 \geq 1, m_1 > i$ $k \geq 1$ $m_2 \geq 1$ $j \geq 1$
VI		$i \geq 1$ $m_1 \geq 1, m_1 > i$ $k \geq 1$ $m_2 \geq 1$ $j \geq 1$

Изложенный материал позволяет заключить следующее.

Формализацию и анализ ЛС следует осуществлять с позиций целостности и однозначного сходства ЛС с учетом таких свойств, как целостность, функции, цели, стабильность, по всем трем фазам лесозаготовительного производства.

Подход к анализу и моделям ЛС должен включать рассмотрение во взаимосвязи материальных и идеальных компонентов, участвующих

в производственном процессе, с учетом их особенностей (прежде всего, природно-производственных условий). Последние рассмотрены в разделах 3 и 4 для конкретных структур и техники.

Приведенная классификация ЛС охватывает возможное многообразие форм ЛС и позволяет осуществить их эффективный анализ и последующий расчет.

Расчетные зависимости приведены в разделе 2.

Очевидно, что с совершенствованием производства в лесном комплексе возможно появление предприятий с новыми структурами. При этом подразумевается участие в лесопромышленном производстве малых и средних ЛС.

Принцип пополнения классификации структур ЛС остается. Сохраняются расчетные формулы с учетом изменений в количестве осваиваемых лесосек, транспортных связей и потребителей. Возможны изменения количественных показателей функционирования производственных участков. Это будет связано с формами хозяйствования, так как у них разные организации управления и цели.

2. ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ

2.1. Формализация лесопромышленных систем

При проектировании и создании ЛС необходимо так распределить ресурсы и сконструировать ЛС, чтобы критерии эффективности оказались бы около экстремальных, а в абсолюте – экстремальными. Большой список целей и критериев эффективности в значительной мере затрудняет анализ ЛС.

Проблема создания эффективных ЛС должна решаться с учетом реальности ограничений двух *типов*:

а) глубина современных методов решения поставленных проблем по функциональным задачам ЛС и по структуре ЛС;

б) возможные технические и технологические средства, с помощью которых предполагается создать ЛС, включая материальные, лесные и финансовые ресурсы.

Для установления принципов функционирования и характеристик ЛС формализуем последнюю таким образом, чтобы создать основы разработки ЛС с позиций их целостности и однозначного сходства.

Представим ЛС в виде графа, вершины которого обозначают фазы работ в ЛС: нижние склады (НС), мастерские участки, бригады либо отдельные машины. Ребра в таком графе – транспортные артерии (лесовозные дороги) с перемещаемой древесиной и порожними лесоавтомобильными. Если в графе имеются вершины, которые имитируют службы и отделы, осуществляющие управление производством, то в этом случае ребра представляются коммуникациями и каналами, по которым перемещается информация (телефонная, телеграфная, курьерская и др.).

Выбор вершин осуществляется исходя из проблем, разрешаемых при анализе и расчете ЛС. Если необходимо установить лишь соответствие, взаимовлияние на уровне лесозаготовительных фаз, то вершинами обозначаются лесосечные и лесоскладские работы с присущими им материальными и идеальными компонентами. При расчете ЛС на уровне производственных участков последние (мастерские участки по заготовке, нижние склады) должны быть приняты за вершины.

Итак, ЛС представлена графом

$$B = B(H, E).$$

Из [10] граф B считается заданным, если множество $H = \{h_i\}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) не пусто.

Это условие всегда обеспечивается из реальной природы ЛС, поскольку вершины h_i в графе B представляют собой материальные компоненты в ЛС, которые ранее нами определены в качестве вершин графа B . Кроме того, необходимо, чтобы для всего множества ребер $E = \{e_{ij}\}$ ($ij = 1, 2, \dots, m$) каждому ребру e_{ij} из множества E должно быть поставлено в соответствие два элемента из множества вершин H .

Вершины h_i и h_j будем называть концевыми производственными участками в ЛС, между которыми существует необходимая функциональная связь e_{ij} .

Поскольку H и E – конечные множества, так как количество фаз работ, мастерских участков и других элементов, определенных в вершинах H , а также количество связей между ними конечно для любой ЛС, то полученный граф B будет конечным. Если $e_{ij} = e_{ji}$, то ребро будет неориентированным. В реальной ЛС это означало бы, что порядок перемещения древесины и информации от производственного участка к участку безразличен.

Так как ранее мы оговорили такое свойство ЛС, как наличие цели (подцелей), то целенаправленность потоков древесины и информации даст $e_{ij} \neq e_{ji}$, т. е. ребро e_{ij} строго ориентировано в направлении от h_i к h_j .

Возможным исключением будут случаи, когда обмен информации между службами либо отделами осуществляется без включения в него руководящей информации, так называемой информации с правом запрета. Далее эти частные случаи мы оговорим особо.

Тогда граф B , как содержащий только ориентированные ребра, будет ориентированным графом, или орграфом.

В графе B можно зафиксировать некоторую вершину e_{ij} и, последовательно двигаясь по смежным ребрам, прийти к другой вершине e_{kl} . Конечная последовательность ребер при этом движении станет определенным технологическим маршрутом, который может быть замкнутым и незамкнутым.

Переходя к ЛС, вышеизложенное можно интерпретировать, например, как перемещение хлыстов от мест повала на погрузочный пункт и далее к нижнему складу.

ЛС может быть расчленена на отдельные подсистемы либо элементы, дальнейшее деление которых на более мелкие не имеет смысла с точки зрения технологии. Такую же операцию расчленения

осуществим на графе B . Назовем граф B' частью графа B , если множество вершин графа B' содержится во множестве вершин графа B и все ребра графа B' являются ребрами графа B .

Каждой вершине и каждому ребру графа B поставим в соответствие определенные параметры, оценивающие фазу работ, лесопункт, мастерский участок, бригаду либо отдельную машину, транспортную магистраль, по которой перемещается древесина.

Будем характеризовать каждую вершину h_i надежностью ω_i , пропускной способностью f_i и вероятностью вывода из строя внешней средой v_i .

Показатели вершин для графа B запишем в виде матриц.

Матрица надежности

$$W = \|\omega_i\|.$$

Если вершина представлена машиной (системой машин), то надежность вершины h_i устанавливается исходя из возможности машины (системы машин) сохранять работоспособное состояние в течение определенного промежутка времени. Мастерский участок либо лесной склад рассматривается как целая техническая единица.

Матрица пропускной способности

$$F = \|f_i\|.$$

Под «пропускной способностью вершин h_i » понимается производительность тех машин либо их систем, которые понимаются под вершиной.

Матрица вероятности вывода производственного участка из состояния работы внешней средой

$$W = \|v_i\|.$$

Данный показатель характеризует вероятность вывода машины, системы машин и т. д. из состояния работы из-за дождя, низких температур, снежного покрова и др.

Каждую лесовозную дорогу (ребро) e_{ij} определим ее длиной l_{ij} , пропускной способностью f_{ij} и вероятностью вывода из строя внешней средой P_{ij} . Количественные характеристики ребер для орграфа B запишем в виде матриц размером $m \times m$.

Здесь и далее под «работоспособностью» понимается способность ЛС выполнять свои функции.

Матрица длины

$$L = \|l_i\|.$$

Развернутая матрица длин ребер графа B будет иметь вид

$$\begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1m} \\ l_{21} & l_{22} & \dots & l_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{m1} & l_{m2} & \dots & l_{mm} \end{pmatrix} = L.$$

Условия существования матрицы L будут следующие:

1) элементы $l_{ij} = 0$, так как транспорта леса, замыкающегося опять-таки на этом же производственном участке, в ЛС нет;

2) если в процессе анализа ЛС мы рассматриваем и учитываем только нагруженные транспортные связи (автопоезда, следующие с пакетами деревьев, либо хлыстов, сортиментов на нижний склад), то матрица L несимметрична;

3) если учету подлежат связи с потоками предметов труда и порожними лесоавтопоездами, то матрица L симметрична.

Значения l_{ij} подставляются в матрицу в виде действительных чисел, олицетворяющих реальные связи в ЛС. Например, если l_{ij} представляет собой транспорт древесины в ЛС между мастерским участком и нижним складом, то в матрицу L могут быть подставлены: длина лесовозной дороги, мощность по вывозке древесины.

Матрица надежности ребер

$$D = \| d_{ij} \|.$$

Развернутая матрица надежности ребер в ЛС будет следующей:

$$\begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mm} \end{pmatrix} = D.$$

Условия существования матрицы D :

– элементы $d_{ii} = 0$ из-за отсутствия таких ребер;

– значения $d_{ij} \neq d_{ji}$, поскольку надежность передвижения лесоавтопоездов с пакетами древесины и без них в общем случае будет различной:

$$0 \leq d_{ij} < 1.$$

Значения d_{ij} характеризуют надежность работы транспорта леса как комплексной связи, включающей дорогу и автопоезда. Численно параметр d_{ij} можно установить как вероятность своевременного

поступления планового объема древесины по данной магистрали от мастерского участка до нижнего склада и как вероятность безотказной работы лесоавтопоездов на линии.

Матрица пропускных способностей

$$F = \|f_{ij}\|,$$

где f_{ij} – пропускная способность лесовозной дороги в системе с имеющимися автопоездами между производственными участками h_i и h_j , приведенная к одной единице измерения.

Развернутая матрица пропускных способностей e_{ij} в системе ЛС будет выражена как

$$\begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1m} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mm} \end{pmatrix} = F.$$

Условия существования матрицы F будут следующие:

1) элементы $f_{ij} = 0$, так как ребра e_{ii} отсутствуют в реально возможных ЛС;

2) $f_{ij} > 0$;

3) $f_{ij} \neq f_{ji}$ согласно замечанию по существованию l_{ij} .

Под «пропускной способностью» понимается объем древесины, который сможет пропустить магистраль в единицу времени. Значения f_{ij} могут измеряться числом автопоездов, которое пропускает лесовозная дорога в единицу времени.

Матрица вероятности вывода e_{ij} из строя внешней средой

$$P = \|p_{ij}\|.$$

Развернутая матрица P в системе ЛС будет иметь вид

$$\begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mm} \end{pmatrix} = P.$$

Условия существования матрицы P следующие:

– $p_{ij} = 0$ аналогично замечанию по l_{ij} ;

– $0 \leq p_{ij} < 1$.

В общем случае $p_{ij} \neq p_{ji}$, поскольку действие климатических факторов на магистраль и автопоезда различно в зависимости от

нагруженности последних.

Численно значения p_{ij} определяются аналогично, как и для v_i .

Приведенные основные показатели, которые характеризуют вершины и ребра, не представляют сложности при их установлении за исключением показателей надежности элементов ЛС. Для последних это, во-первых, объясняется вероятностным характером показателей, во-вторых, большим количеством самих показателей.

Основным показателем надежности элемента ЛС является такая характеристика, которая отражает важнейшие свойства надежности, проявляющиеся при эксплуатации элемента ЛС и влияющие на степень выполнения возложенных на этот элемент функций, и является составной частью общей оценки функционирования ЛС.

В качестве показателей надежности для восстанавливаемых элементов и систем рекомендуются коэффициент технической готовности, средняя частота отказов.

Другим аспектом, который следует здесь рассмотреть, является методика определения показателей надежности для таких сложных систем, как ЛС и даже ее элементов.

Сложность проблемы заключается в том, что ЛС и ее элементы могут выполнять заданные функции даже при наличии отказов отдельных элементов. В этом случае ухудшаются показатели работы всей ЛС.

Предложено для сложных систем отказ определять как событие, состоящее в полной или частичной утрате работоспособности.

Пусть математической моделью, отражающей свойство надежности ЛС, является векторная случайная функция:

$$\bar{S}(t) = \begin{pmatrix} S_1(t) \\ S_2(t) \\ \vdots \\ S_N(t) \end{pmatrix},$$

где $S_i(t)$ – оценка работоспособности одного i -го элемента; N – число элементов в ЛС.

С каждым состоянием ЛС параметру функции $\bar{S}(t)$ можно сопоставить показатель $K(t)$ качества функционирования ЛС в рассматриваемом состоянии, например, производительность. Показатель $K(t)$ будет изменяться в пределах

$$K_{\max} > K(t) > 0,$$

где K_{\max} – значение $K(t)$, соответствующее состоянию ЛС, со всеми

работающими элементами.

Поскольку число состояний ЛС конечно, то, во-первых, $K(t)$ изменяется скачками, во-вторых, определяется характеристиками элементов ЛС и, в-третьих, $K(t)$ – случайная функция.

При оценке функционирования ЛС в целом интерес представляет «выходной эффект» по ЛС. По «выходному эффекту» ЛС можно судить о различных ЛС, а также о соотношениях работоспособности входящих в ЛС элементов.

Примем в качестве «выходного эффекта» ЛС объем выпущенной продукции $Q(t)$. Он будет находиться в функциональной зависимости от $K(t)$:

$$Q(t) = \varphi[K(t)],$$

или

$$Q(t) = \sum_{i=1}^m K_i P_i(t),$$

где K_i – значения показателя качества функционирования ЛС (производительность); P_i – вероятность пребывания ЛС в состоянии, в котором достигается значение K_i ; m – число состояний, возможное для данной ЛС.

Заметим, что набор характеристик $\{P_1, K, P_m\}$ является аналогом коэффициента готовности.

ЛС, имеющая состав и структуру, должна характеризоваться определенной работоспособностью. Исходя из ранее рассмотренной функции ЛС, установим закономерности конструирования ЛС и параметры, при которых ЛС сможет выполнить свои функции.

Для определения характеристик работоспособности ЛС рассмотрим ее в орграфе B .

Работоспособность ЛС оценивается в основном величинами ω_i и d_{ij} . Природа величин ω_i и d_{ij} является вероятностной.

Строго говоря, граф B будет вероятностным. В случае же рассмотрения орграфа B с определенными значениями ω_i и d_{ij} можно осуществлять анализ упрощенного орграфа B .

Поведение ЛС во времени и пространстве будем считать заданным, если перечислим и количественно означим все возможные состояния, в которых пребывает ЛС в процессе своего функционирования. Например, работают все подразделения, работает половина, не работают все и т. д. Количественно каждое состояние может быть определено величиной вероятности состояния, либо

распределением вероятностей. Распределение вероятности состояния существенно повысит информативность для каждого из состояний. Например, можно найти состояние работы всех подразделений ЛС как вероятность такого состояния ЛС, когда все элементы работают. При определении состояния распределением принимается соответствующее (нормальное, Эрланга и т. д.) распределение со средней вероятностью 0,7 и соответствующим значением дисперсии σ .

Итак, пусть состояние ЛС – S_i^j , где i – порядковый номер элемента либо производственного подразделения ЛС.

Обозначим число мастерских участков (бригад) по заготовке древесины через n_1 ; число нижних складов – n_2 ; число транспортных связей, по которым выполняется транспорт леса, – m . Тогда

$$i = 1, 2, 3, \dots, (n_1 + n_2 + m).$$

Индекс j обозначает вид состояния элемента либо участка i , в котором он сможет пребывать, функционируя в составе ЛС. Например, $j = 1$ – элемент либо подразделение ЛС работает с полной нагрузкой; $j = 2$ – элемент либо подразделение ЛС работает с недогрузкой и т. д.

Размерность j зависит от постановки задачи при расчете ЛС.

Запишем состояния ЛС в виде табл. 2.1.

Таблица 2.1

Состояния элементов ЛС

$\sum p^1$	$\sum p^2$	$\sum p^3$	Фазы производства
1	2	3	4
$S_{л_1}^1$ $p_{л_1}^1$ N $S_{лн_1}^1$ $p_{лн_1}^1$	$S_{л_1}^2$ $p_{л_1}^2$ N $S_{лн_1}^2$ $p_{лн_1}^2$	$S_{л_1}^3$ $p_{л_1}^3$ N $S_{лн_1}^3$ $p_{лн_1}^3$	Состояния подсистемы лесосечных работ
$S_{т_1}^1$ $p_{т_1}^1$ N	$S_{т_1}^2$ $p_{т_1}^2$ N	$S_{т_1}^3$ $p_{т_1}^3$ N	Состояния подсистемы транспорта леса

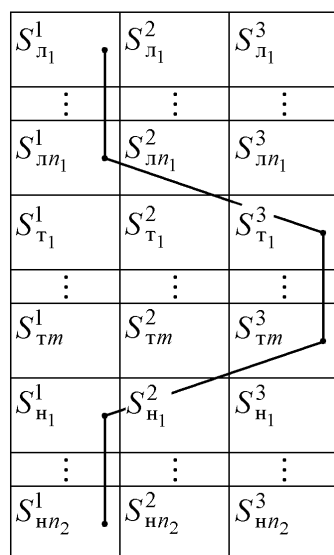
$S_{tm_1}^1$	$S_{tm_1}^2$	$S_{tm_1}^3$	
$p_{tm_1}^1$	$p_{tm_1}^2$	$p_{tm_1}^3$	

Окончание табл. 2.1

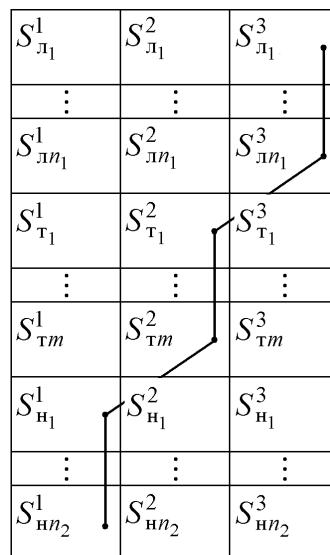
1	2	3	4
$S_{н_1}^1$	$S_{н_1}^2$	$S_{н_1}^3$	Состояния подсистемы нижних складов
$p_{н_1}^1$	$p_{н_1}^2$	$p_{н_1}^3$	
\mathbb{N}	\mathbb{N}	\mathbb{N}	
$S_{нn_2}^1$	$S_{нn_2}^2$	$S_{нn_2}^3$	
$p_{нn_2}^1$	$p_{нn_2}^2$	$p_{нn_2}^3$	

Примечание. $\sum p^1$ – вероятность того, что в ЛС сохраняют работоспособность все элементы и подразделения; $\sum p^2$ – вероятность того, что все подразделения в ЛС работают с недогрузкой; $\sum p^3$ – вероятность того, что все подразделения в ЛС не работают.

В схеме расчета ЛС с полной загрузкой (рис. 2.1, а) работают все участки по заготовке древесины (состояния $S_{\dot{e}_1}^1, S_{\dot{e}_2}^1, K, S_{\dot{e}_{n_1}}^1$) и нижние лесные склады, входящие в рассматриваемую ЛС (состояния $S_{i_1}^1, S_{i_2}^1, K, S_{i_{n_2}}^1$), а не работают все магистрали, что соответствует отсутствию вывозки леса. Во втором примере (рис. 2.1, б) приведено состояние ЛС, когда отсутствует заготовка, вывозка осуществляется с недогрузкой, а нижние склады работают с полной загрузкой.



а



б

Рис. 2.1. Определение состояния ЛС
при различных входящих элементах:

a – ЛС с полной загрузкой;

b – отсутствует заготовка, вывозка осуществляется с недогрузкой

Число состояний по j может быть сколь угодно большим. Однако в практике инженерных расчетов j целесообразно принимать счетным, целым в диапазоне 3–6 (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Выделение состояний ЛС по j

$j \backslash \Sigma j$	3	4	5
1	Элементы ЛС работают с полной загрузкой	Элементы ЛС работают с полной загрузкой	Элементы ЛС работают с полной загрузкой
2	Элементы ЛС работают с половинной загрузкой	Элементы ЛС работают в 2/3 загрузки	Элементы ЛС работают с 80%-ной загрузкой
3	Элементы ЛС не работают	Элементы ЛС работают в 1/3 загрузки	Элементы ЛС работают с 60%-ной загрузкой
4	–	Элементы ЛС не работают	Элементы ЛС работают с 20%-ной загрузкой
5	–	–	То же
6	–	–	Элементы ЛС не работают

Если n – число вершин графа B , а m – число ребер (в общем случае $n \neq m$), то граф B имеет 2^{n+m} состояний. Каждое состояние ЛС определится однозначно множеством присутствующих вершин H_i и множеством присутствующих ребер E_j .

Так, для состояния табл. 2.2 это совокупность состояний элементов

$$\{ S_{\bar{e}_1}^1, S_{\bar{e}_2}^1, K, S_{\bar{e}_{n_1}}^1, S_{i_1}^1, S_{i_2}^1, K, S_{i_{n_2}}^1 \}.$$

Пусть r -е состояние ЛС с множеством присутствующих вершин H_i и ребер E_j есть S_k . Обозначим вероятность того, что граф B и система ЛС находится в состоянии S_k через $P(S_k)$.

Тогда $P(S_k)$ определится как

$$P(S_k) = \prod_{k \in M_{\text{лп}}} \omega_{\text{лп}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{лн}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{тп}}} d_{\text{тп}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{тн}}) \times$$

$$\times \prod_{k \in M_{\text{пр}}} \omega_{\text{нк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{ни}}} (1 - \omega_{\text{нл}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{пр}}} \omega_{\text{пк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{ни}}} (1 - \omega_{\text{пл}}), \quad (2.1)$$

где $M_{\text{лр}}, M_{\text{тр}}, M_{\text{нр}}, M_{\text{пр}}$ – множество индексов k работающих, строго занумерованных производственных участков; $M_{\text{лн}}, M_{\text{тн}}, M_{\text{нн}}, M_{\text{пн}}$ – множество индексов l неработающих участков; $\prod_{k \in M_{\text{эδ}}} \omega_{\text{эк}}, \prod_{k \in M_{\text{δδ}}} d_{\text{δк}}, \prod_{k \in M_{\text{юδ}}} \omega_{\text{йк}}, \prod_{k \in M_{\text{юδ}}} \omega_{\text{йк}}$ – произведения параметров надежности для работающих участков заготовки, транспорта древесины, промплощадок и нижних складов; $\prod_{l \in M_{\text{эй}}} (1 - \omega_{\text{эл}}), \prod_{l \in M_{\text{δй}}} (1 - d_{\text{δл}}), \prod_{l \in M_{\text{йй}}} (1 - \omega_{\text{йл}}), \prod_{l \in M_{\text{йй}}} (1 - \omega_{\text{йл}})$ – то же для неработающих подразделений ЛС.

При отсутствии в ЛС промплощадок из (2.1) получим частную формулу для расчета таких ЛС

$$P(S_k) = \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{лк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{лл}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{тк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{тл}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{нл}}). \quad (2.2)$$

Полученные формулы позволяют осуществлять вывод расчетных формул для ЛС различных видов, вести расчет таких ЛС и на его основе проводить выбор рациональных структур ЛС.

2.2. Работоспособность лесопромышленных систем вида I

Лесопромышленные системы, относящиеся к виду I, сильно отличаются структурой, так как с увеличением числа мастерских участков по заготовке древесины и нижних складов растет число возможных структур ЛС.

Однако общность таких ЛС, отнесенных к виду I, позволяет получить единые формулы для расчета работоспособности таких ЛС.

Обозначим общее число участков заготовки древесины через n_1 , число нижних складов в ЛС – n_2 , а число транспортных лесовозных связей между ними – m .

Из уравнения (2.2) получим расчетные формулы для данного вида ЛС. Вероятность того, что ЛС работоспособна, причем все элементы по фазам лесосечных работ, транспорту леса и нижнескладским работам работоспособны и могут выполнять свои функции, составит:

$$P(S_k) = \prod_{k \in M_{\ddot{\delta}\delta}} \omega_{\ddot{\delta}k} \cdot \prod_{k \in M_{\delta\delta}} d_{\delta k} \cdot \prod_{k \in M_{\dot{\delta}\delta}} \omega_{\dot{\delta}k} =$$

$$= (\omega_{\text{л}_1} \omega_{\text{л}_2} K \omega_{\text{лн}_1})(d_{11} d_{12} K d_{\text{н}_1 \text{н}_2})(\omega_{\text{н}_1} \omega_{\text{н}_2} K \omega_{\text{нн}_2}), \quad (2.3)$$

где $M_{\text{лр}} = M_{\text{л}}$, $M_{\text{тр}} = M_{\text{т}}$, $M_{\text{нр}} = M_{\text{н}}$.

Если под «источниками поставок древесины» понимаем бригады либо мастерские участки и их надежность близка, что позволило принять

$$\omega_{\ddot{\delta}_1} = \omega_{\ddot{\delta}_2} = K = \omega_{\ddot{\delta} \text{н}_1} = \omega_{\ddot{\delta}},$$

для нижних складов допустить

$$\omega_{\dot{\delta}_1} = \omega_{\dot{\delta}_2} = K = \omega_{\dot{\delta} \text{н}_2} = \omega_{\dot{\delta}},$$

а для транспорта леса

$$d_{11} = d_{12} = K = d_{\text{н}_1 \text{н}_2} = d_{\delta},$$

то получим выражение для P_I следующего вида

$$P_I = \omega_{\ddot{\delta}}^{n_1} \omega_{\dot{\delta}}^{n_2} d_{\delta}^m, \quad (2.4)$$

где $\omega_{\text{л}}$ – надежность одного производственного участка (бригады, мастерского участка); $\omega_{\dot{\delta}}$ – надежность одного нижнего склада; $d_{\text{т}}$ – надежность одной транспортной связи между бригадой и нижним складом.

Вероятность того, что работоспособность в ЛС сохраняют вывозка и нижние склады, а заготовка временно не ведется, равна

$$P_{II} = \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{л}l}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{т}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{н}k} =$$

$$= (1 - \omega_{\text{л}_1})(1 - \omega_{\text{л}_2})(1 - \omega_{\text{лн}_1})(d_{11} d_{12} \dots d_{\text{н}_1 \text{н}_2})(\omega_{\text{н}_1} \omega_{\text{н}_2} \dots \omega_{\text{нн}_2}), \quad (2.5)$$

где $M_{\text{лн}} = M_{\text{л}}$, $M_{\text{тр}} = M_{\text{т}}$, $M_{\text{нр}} = M_{\text{н}}$.

Для допущения, сделанного выше (в формуле (2.4)), получим

$$P_{II} = (1 - \omega_{\ddot{\delta}})^{n_1} \omega_{\dot{\delta}}^{n_2} d_{\delta}^m. \quad (2.6)$$

Вероятность состояния ЛС, когда заготовка временно не ведется, ввозка осуществляется в полном объеме, а нижние склады могут работать, либо простаивать, составит

$$P_{III} = \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{л}l}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{т}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{н}k} \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{н}l}) = (1 - \omega_{\text{л}_1})(1 - \omega_{\text{л}_2}) K (1 - \omega_{\text{л}_1}) \times$$

$$\times (\omega_{\text{н}_1} \omega_{\text{н}_2} \dots \omega_{\text{н}_i})(1 - \omega_{\text{н}_{i+1}})(1 - \omega_{\text{н}_{i+2}}) \dots (1 - \omega_{\text{н}_j})(d_{11} d_{12} \dots d_{ij}), \quad (2.7)$$

где $M_{\text{лн}} = M_{\text{л}}$.

Частное решение для равных одноименных показателей по допущению в (2.4) даст формула

$$P_{III} = (1 - \omega_{л})^{n_l} d_T^m. \quad (2.8)$$

Вероятность такого состояния ЛС, при котором мастерские участки по заготовке древесины могут быть в различных состояниях, вывозка не ведется, а нижние склады работают в нормальном эксплуатационном режиме, определится из выражения

$$\begin{aligned} P_{IV} &= \prod_{k \in M_{лп}} \omega_{лk} \cdot \prod_{l \in M_{лл}} (1 - \omega_{лl}) \cdot \prod_{l \in M_{лн}} (1 - d_{лl}) \cdot \prod_{k \in M_{нп}} \omega_{нк} = \\ &= (\omega_{л_1} \omega_{л_2} \dots \omega_{л_i}) (1 - \omega_{л_{i+1}}) (1 - \omega_{л_{i+2}}) \dots (1 - \omega_{л_{n_l}}) \times \\ &\times (1 - d_{11}) (1 - d_{12}) \dots (1 - d_{n_l n_2}) (\omega_{н_1} \omega_{н_2} \dots \omega_{н_{n_2}}), \end{aligned} \quad (2.9)$$

где $M_{лн} = M_T$, $M_{нп} = M_H$.

В частном случае равенства одноименных показателей имеем

$$P_{IV} = \omega_l^{n_l} (1 - d_{\delta})^m. \quad (2.10)$$

Вероятность того, что в ЛС функционируют вывозка древесины и нижние склады, а лесосечные работы ведутся, либо временно не производятся равна

$$\begin{aligned} P_V &= \prod_{k \in M_{лп}} \omega_{лk} \cdot \prod_{l \in M_{лн}} (1 - \omega_{лl}) \cdot \prod_{k \in M_{лп}} d_{лk} \cdot \prod_{k \in M_{нп}} \omega_{нк} = \\ &= (\omega_{л_1} \omega_{л_2} \dots \omega_{л_i}) (1 - \omega_{л_1}) (1 - \omega_{л_2}) \dots (1 - \omega_{л_i}) \times \\ &\times (\omega_{н_1} \omega_{н_2} \dots \omega_{н_j}) (d_{11} d_{12} \dots d_{ij}), \end{aligned} \quad (2.11)$$

где $M_{лп} = M_T$, $M_{нп} = M_H$.

При равных одноименных показателях получим

$$P_{IV} = \omega_l^{n_l} d^m. \quad (2.12)$$

Вероятность состояния ЛС, при котором нормально функционирует только фаза лесосечных работ, определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} P_{VI} &= \prod_{k \in M_{\delta\delta}} \omega_{\delta k} \cdot \prod_{l \in M_{\delta\delta}} (1 - \omega_{\delta l}) \cdot \prod_{l \in M_{\delta\delta}} (1 - d_{\delta l}) \cdot \prod_{l \in M_{\delta\delta}} (1 - \omega_{\delta l}) = (\omega_{\delta_1} \omega_{\delta_2} \dots \omega_{\delta_{n_l}}) \times \\ &\times (1 - d_{11}) (1 - d_{12}) \dots (1 - d_{ij}) (1 - \omega_{\delta_1}) (1 - \omega_{\delta_2}) \dots (1 - \omega_{\delta_{n_l}}). \end{aligned} \quad (2.13)$$

В частном случае одноименных равных показателей получим

$$P_{VI} = \omega_{\delta}^{n_l} (1 - d_{\delta})^m \omega_{\delta}^{n_l}. \quad (2.14)$$

Вероятность состояния ЛС при функционирующем только

транспорте леса составит

$$P_{VII} = \prod_{l \in M_{лн}} (1 - \omega_{лl}) \cdot \prod_{k \in M_{тр}} d_{тk} \cdot \prod_{l \in M_{нн}} (1 - \omega_{нl}) = (1 - \omega_{л1})(1 - \omega_{л2}) \dots (1 - \omega_{лm_1}) \times \\ \times (d_{11} d_{12} \dots d_{ij})(1 - \omega_{i1})(1 - \omega_{i2}) \dots (1 - \omega_{in_2}). \quad (2.15)$$

При равенстве одноименных показателей работоспособности получим

$$P_{VII} = (1 - \omega_{\varepsilon})^{n_1} d_{\delta}^m (1 - \omega_i)^{n_2}. \quad (2.16)$$

Вероятность состояния ЛС, когда функционируют лишь нижние склады, равна

$$P_{VIII} = \prod_{l \in M_{лн}} (1 - \omega_{лl}) \cdot \prod_{l \in M_{тн}} (1 - d_{тl}) \cdot \prod_{k \in M_{нр}} \omega_{нк} = (1 - \omega_{л1})(1 - \omega_{л2}) \dots (1 - \omega_{лm_1}) \times \\ \times (1 - d_{11})(1 - d_{12}) \dots (1 - d_{ij})(\omega_{н1} \omega_{н2} \dots \omega_{нn_2}). \quad (2.17)$$

Формула для частного случая имеет вид

$$P_{VIII} = (1 - \omega_{\varepsilon})^{n_1} (1 - d_{\delta})^m \omega_i^{n_2}. \quad (2.18)$$

Вероятность такого состояния ЛС, при котором все производственные участки не функционируют, составит

$$P_{IX} = \prod_{l \in M_{лн}} (1 - \omega_{лl}) \cdot \prod_{l \in M_{тн}} (1 - d_{тl}) \cdot \prod_{k \in M_{нн}} (1 - \omega_{нl}) = (1 - \omega_{л1})(1 - \omega_{л2}) \dots (1 - \omega_{лm_1}) \times \\ \times (1 - d_{11})(1 - d_{12}) \dots (1 - d_{ij})(1 - \omega_{i1})(1 - \omega_{i2}) \dots (1 - \omega_{in_2}), \quad (2.19)$$

где $M_{лн} = M_{л}$, $M_{тн} = M_{т}$, $M_{нн} = M_{н}$.

Значение P_{IX} в частном случае определится по следующей формуле:

$$P_{IX} = (1 - \omega_{\varepsilon})^{n_1} (1 - d_{\delta})^m (1 - \omega_i)^{n_2}. \quad (2.20)$$

На основании формул (2.3–2.20) установлены зависимости значений вероятностей состояний ЛС от надежности функционирования участков заготовки древесины, транспорта леса и нижних складов. На рис. 2.2 представлены зависимости работоспособного состояния ЛС типа I_1 , когда все элементы ЛС работоспособны и вывозка древесины осуществляется на один нижний склад.

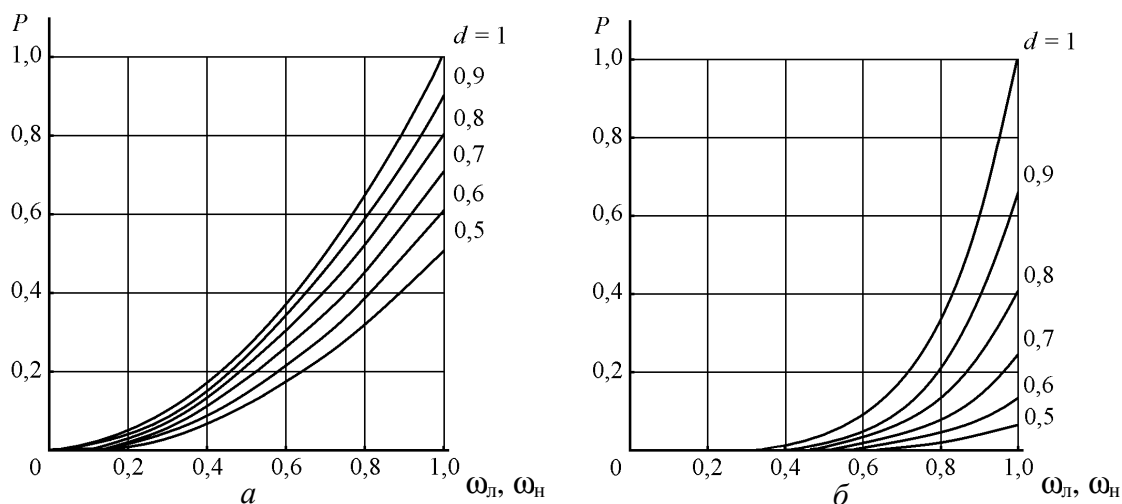


Рис. 2.2. Зависимости вероятности работоспособного состояния всей ЛС от показателей надежности лесосечных работ, транспорта леса и нижескладских работ для ЛС типа I_1 с одним складом:
 $a - n_1 = 1$; $b - n_1 = 4$

Графики дают основание заключить, что вероятность работоспособного состояния ЛС при условии сохранения одновременно работоспособности входящих участков для $n_2 = 1$ всегда выше, особенно в областях, где $\omega_{\text{л}}, \omega_{\text{н}}, d_{\text{т}}$ меньше 0,9.

Зависимости на рис. 2.3 указывают на снижение величины вероятности такого состояния ЛС, когда временно не ведется заготовка с увеличением количества бригад (мастерских участков) и надежности их работы.

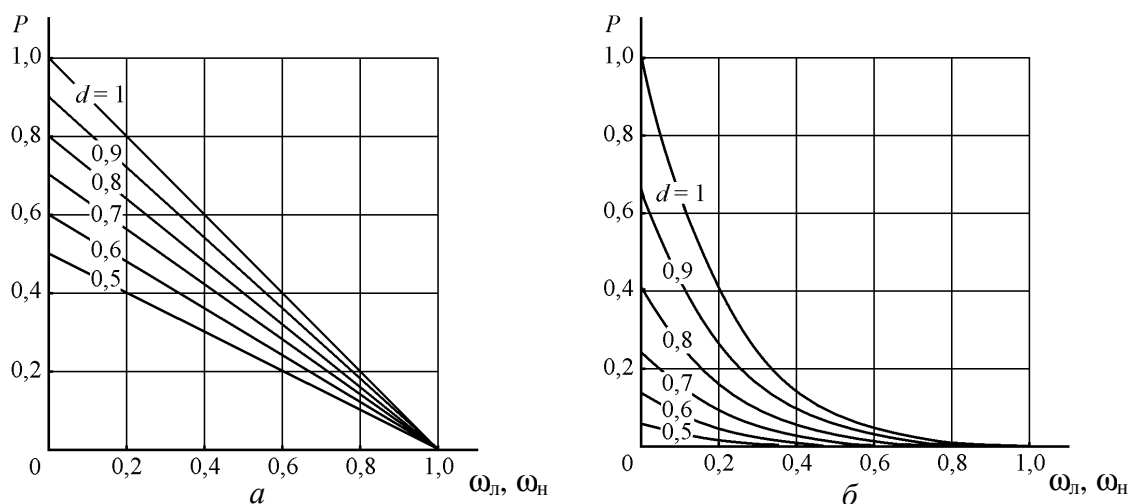


Рис. 2.3. Зависимости вероятности состояния ЛС, когда заготовка временно не ведется, вывозка осуществляется, а нижние склады могут работать и простаивать, от показателей работоспособности элементов ЛС ($n_2 = 1$):
 $a - n_1 = 1$; $b - n_2 = 4$

Наиболее существенное уменьшение P приходится на диапазон $0,9 \leq \omega_{\text{л}} < 1$ и при $n_1 > 2$. Здесь же отметим, что чувствительность P к изменению параметров $\omega_{\text{л}}$ и $\omega_{\text{н}}$ снижается в случаях, когда ЛС содержит в своем составе два и более нижних складов при невысоких значениях работоспособности транспорта леса ($d_{\text{т}} < 0,7$).

Анализ зависимостей, представленных на рис. 2.4, свидетельствует о линейном возрастании вероятности состояний ЛС, когда лесосечные работы могут пребывать в различных состояниях вывозка древесины не ведется, нижние склады работают) от параметра $\omega_{\text{л}}$, а также говорит о нелинейном уменьшении данной вероятности от количества поставщиков древесины (бригады, мастерские участки).

Отметим, что уже при $n_1 \geq 4$ и любых $\omega_{\text{ли}}, \omega_{\text{нж}}, d_{ij}$ величина рассматриваемой вероятности не превышает 0,05 и практически может не приниматься в расчетах ЛС. Во всех других случаях данная вероятность должна учитываться в технологических расчетах, так как ее значение достигает 0,45 при максимально достижимом $d_{\text{т}}$, равном 0,95.

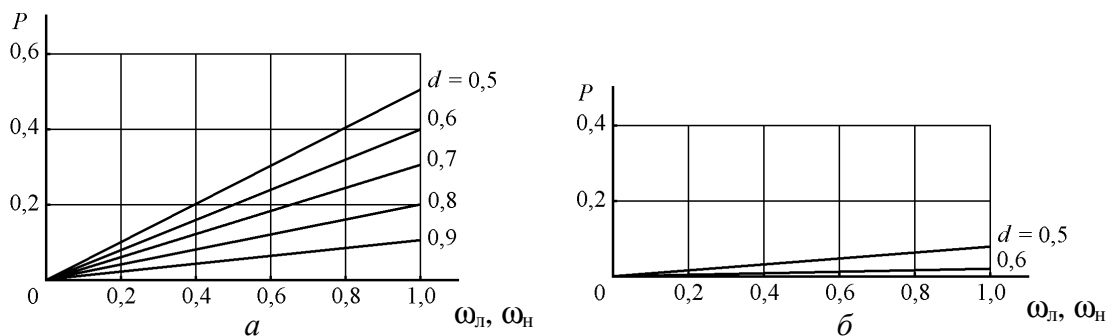


Рис. 2.4. Зависимости вероятности состояния ЛС, когда лесосечные работы могут вестись или временно могут быть приостановлены, вывозка не ведется, а нижние склады работают ($n_2 = 1$):
 $a - n_1 = 1$; $б - n_1 = 4$

На рис. 2.5 представлены предельные значения вероятностей работоспособного состояния ЛС, которые больше, нежели аналогичные на рис. 2.2, так как в этом случае учтены состояния, когда функционируют одновременно все элементы ЛС, и возможность вывозки древесины из запасов на погрузочных пунктах (промплощадках). Последнее может осуществляться либо с ее заготовкой, либо при временном прекращении заготовки древесины. Штриховые линии указывают на вероятность состояния ЛС, когда работают одновременно все элементы. Рост вероятности работоспособного состояния ЛС с учетом функционирования вывозки из запасов особенно заметен в следующих ситуациях, возникающих при эксплуатации ЛС:

- $-d_T = 1; \quad 0,5 \leq \{\omega_{\text{л}}, \omega_{\text{н}}\} \leq 0,7;$
- $-d_T = 0,9; \quad 0,5 \leq \{\omega_{\text{л}}, \omega_{\text{н}}\} \leq 0,8;$
- $-d_T = 0,8; \quad 0,5 \leq \{\omega_{\text{л}}, \omega_{\text{н}}\} \leq 0,8;$
- $-d_T = 0,7; \quad 0,5 \leq \{\omega_{\text{л}}, \omega_{\text{н}}\} \leq 0,8;$
- $-d_T = 0,6; \quad 0,5 \leq \{\omega_{\text{л}}, \omega_{\text{н}}\} \leq 0,8;$
- $-d_T = 0,5; \quad 0,5 \leq \{\omega_{\text{л}}, \omega_{\text{н}}\} \leq 0,8.$

для $n_1 \geq 3$.

В случаях $3 > n_1 \geq 1$ диапазон $\omega_{\text{л}}$ и $\omega_{\text{н}}$ составляет $0,3 \leq \{\omega_{\text{л}}, \omega_{\text{н}}\} \leq 0,7$ при различных значениях d_T .

Рост значения вероятности работоспособного состояния ЛС больше для $d_T \geq 0,8$ при прочих равных условиях и параметрах.

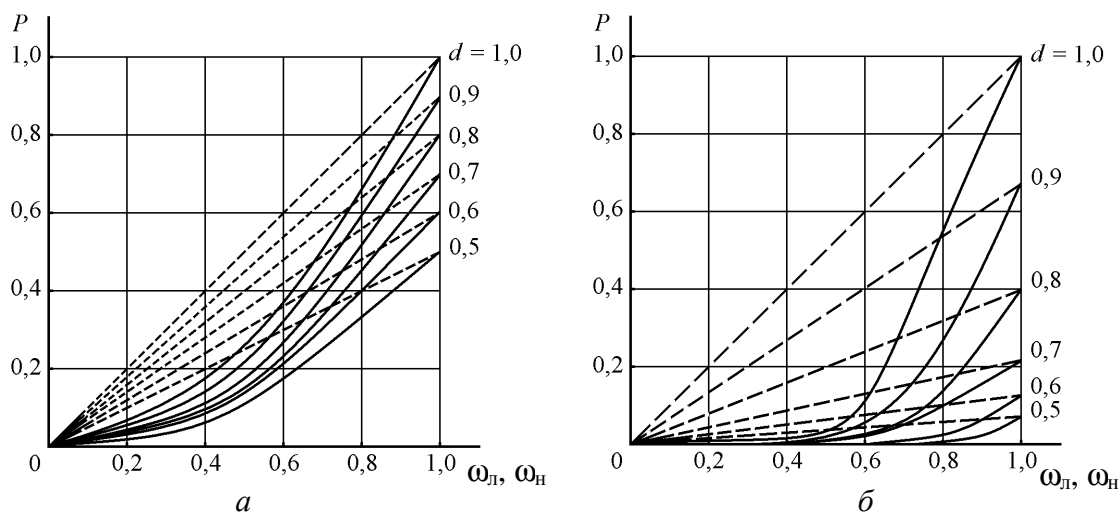


Рис. 2.5. Зависимости вероятности работоспособного состояния ЛС, включая и возможности вывозки из запасов древесины на лесосеках, от показателей надежности элементов ЛС ($n_2 = 1$):

$$a - n_1 = 1; \quad б - n_1 = 4$$

В процессе развития ЛС, когда реконструкции подвергаются все элементы либо часть их, важно установить наиболее рациональные пути изменений, которые приведут к созданию ЛС с более высокой работоспособностью. Методика такого поиска представлена на рис. 2.6.

Рис. 2.6 иллюстрирует зависимость увеличения работоспособности ЛС (обозначено через ΔP_p). Повышение надежности нижнего склада либо транспорта леса признано целесообразным до величины 0,9. Понятие последней при проектировании лесопромышленных производств обосновано нормативами.

Отметим, что при одном источнике поставки древесины повышение надежности нижнего склада и транспорта леса является равнозначным в отношении результирующего показателя для ЛС.

Во всех остальных случаях, когда число источников древесины $n_1 \geq 2$, надежность ЛС растет быстрее при повышении надежности транспорта леса либо лесосечных работ.

Эффект увеличения работоспособности всей ЛС при росте надежности нижнего склада имеет место для $n_1 \leq 3$. Для остальных случаев он менее значителен.

Повышение надежности транспорта леса дает ощутимый рост работоспособности ЛС для вида ЛС при $n_1 \leq 10$. В случаях, когда $n_1 \geq 10$, эффект увеличения работоспособности ЛС ниже и не

превышает 2%.

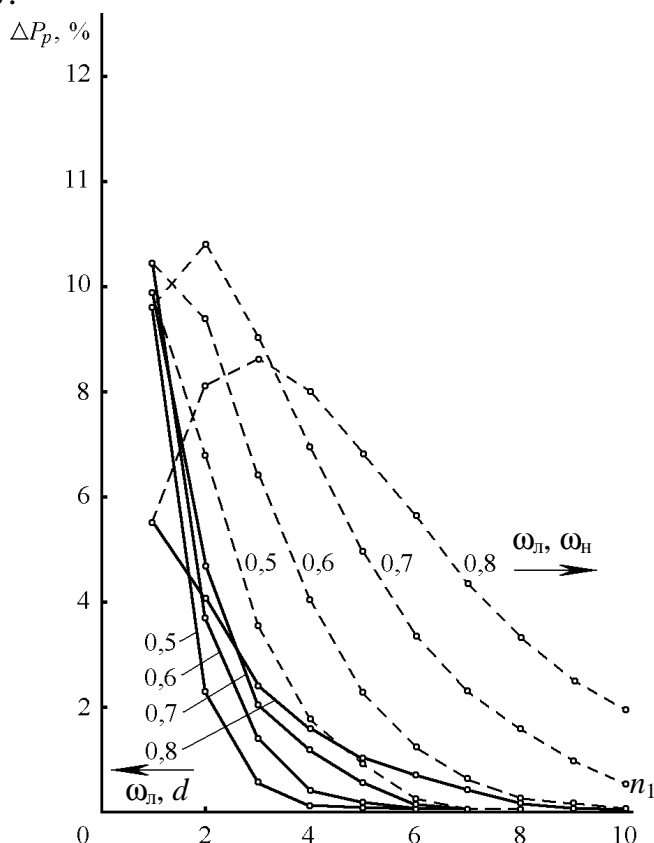


Рис. 2.6. Зависимости увеличения работоспособности ЛС при росте надежности нижнего склада либо транспорта леса при условии, что показатели надежности двух элементов ЛС остаются неизменными:
 — при повышении $\omega_{н}$ до 0,9 ($\omega_{л} = \text{const}$, $d = \text{const}$);
 - - при увеличении d до 0,9 ($\omega_{л} = \text{const}$, $\omega_{н} = \text{const}$)

Сформулируем общие закономерности, следующие из характера зависимостей:

1. Для всех структур ЛС вида I и различных параметров $\omega_{лi}$, $\omega_{нj}$, d_{tij} эффект увеличения работоспособности в целом ЛС выше, если надежность участка, либо фазы работ, увеличиваем при высоких показателях работоспособности производств, которые не подвергаются изменению. Иными словами, нецелесообразно повышать работоспособность одного, двух элементов ЛС при общей низкой надежности остальных элементов и всей ЛС.

2. В каждом конкретном случае ЛС имеется наилучшее значение ΔP_p , которое следует считать оптимальным по критерию ΔP_p при решении вопроса об увеличении надежности функционирования нижнего склада либо транспорта леса. Ниже в табл. 2.3 приводятся

значения параметров n_1 , ω_l , ω_n , d_t , начиная с которых целесообразно повышать надежность нижнего склада либо транспорта леса с целью достижения максимального роста работоспособности ЛС.

Таблица 2.3

Работоспособность ЛС

n_1	1	2	4	6	8	10	12	14
Увеличение d_t при $\omega_l = \text{const}$, $\omega_n = \text{const}$	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Увеличение ω_n при $\omega_l = \text{const}$, $d = \text{const}$	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Изложенная методика поиска лучших решений по отношению к структуре ЛС сохраняется при рассмотрении вопросов о повышении работоспособности любого из производственных участков с целью достижения максимальной работоспособности всей ЛС.

Рассмотрим характеристики ЛС вида I с двумя нижними складами и различным числом участков заготовки древесины, не взаимодействующих между собой при поставке древесины на нижние склады. Зависимости, приводимые ниже, получены с использованием формул (2.2–2.20). С увеличением числа участков заготовки, снабжающих два нижних склада древесиной, вероятность такого состояния ЛС, когда одновременно работают мастерские участки, транспорт леса и нижние склады, сокращается. Максимальное уменьшение P_1 приходится на диапазон значений параметров работоспособности элементов ЛС $0,6 \leq \{\omega_{\varepsilon}, d_{\delta}, \omega_f\} \leq 0,95$. Это именно тот диапазон значений параметров ω_l , ω_n , d_t , в котором работают лесопромышленные системы (рис. 2.7).

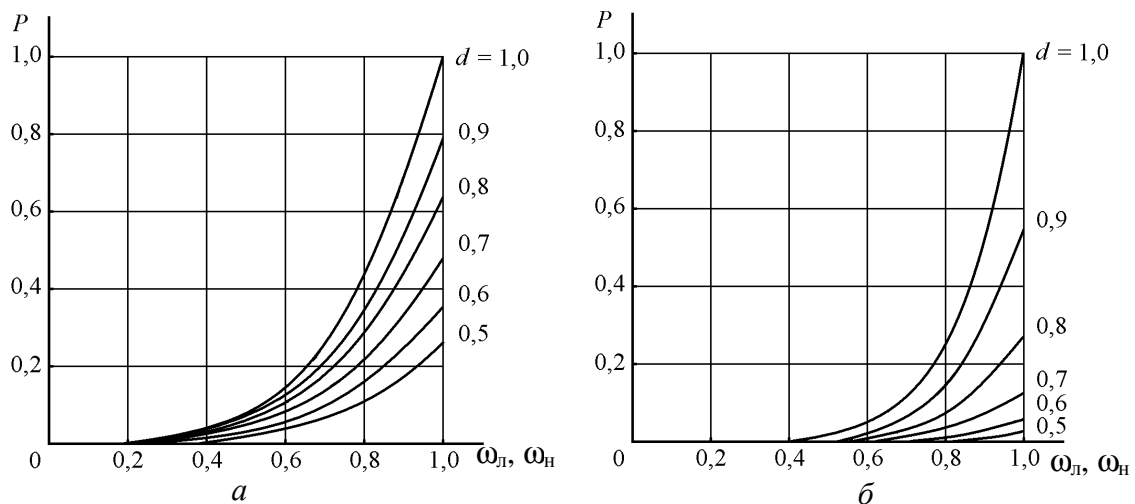


Рис. 2.7. Зависимости работоспособности ЛС с двумя нижними складами от показателей надежности элементов, входящих в ЛС:

$$a - n_1 = 2; \quad б - n_1 = 6$$

Значения вероятности таких состояний ЛС, когда функционируют транспорт леса и нижние склады, а заготовка временно не ведется, сравнительно малы (рис. 2.8) и в максимальном своем значении не превышают $P_{II} = 0,07$ для $d_T = 1,0$. Для подавляющей массы ЛС рассматриваемого вида I значения $P_{II} = 0,03-0,05$. Т. е. вероятность того, что в процессе функционирования ЛС заготовка может временно не вестись, составляет 0,03–0,05 по анализируемому типу ЛС. В ЛС, которые содержат в своем составе более шести производственных участков, снабжающих два нижних склада, значение вероятности состояния ЛС с временно не ведущейся заготовкой равно менее 0,005, и в практических расчетах ЛС может не учитываться.

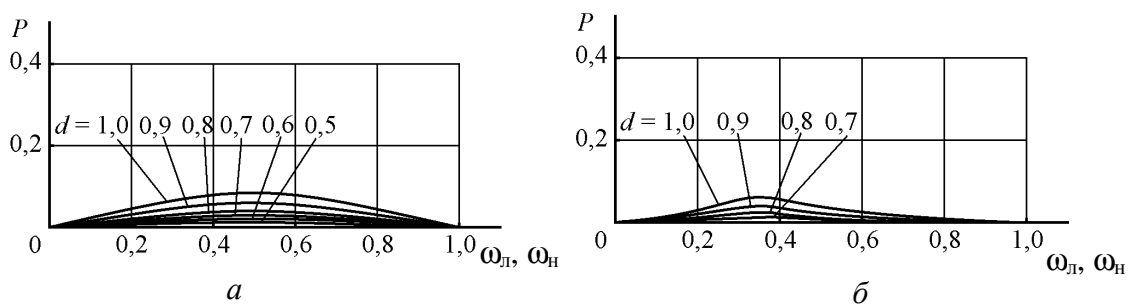


Рис. 2.8. Зависимости вероятности того, что работоспособность в ЛС сохраняют транспорт леса и нижние склады, а заготовки временно нет, от параметров работоспособности элементов ЛС:

$$a - n_1 = 2; \quad б - n_1 = 6$$

Если же рассматривать состояние ЛС, когда заготовка временно не ведется, транспорт леса функционирует нормально, а нижние склады могут работать либо простаивать, то необходимо констатировать значительную величину вероятности такого состояния (рис. 2.9) для области больших значений $\omega_{\text{л}}$ и $\omega_{\text{н}}$.

При малых значениях n_1 вероятность рассматриваемых состояний ЛС расположена в области $0 \leq \{\omega_{\text{л}i}, d_{\text{м}ij}, \omega_{\text{н}j}\} < 0,7$.

В случаях, когда $n_1 > 4$, область значений вероятности P_{III} сужается до $0 \leq \{\omega_{\text{л}i}, d_{\text{м}ij}, \omega_{\text{н}j}\} < 0,4$.

В ЛС, где содержится $n_1 > 8$, область характеристик работоспособности элементов $\omega_{\text{л}}$, $\omega_{\text{н}}$, $d_{\text{т}}$ лежит в диапазоне 0–0,3.

Здесь заметим, что в этой области не работают реальные лесопромышленные системы.

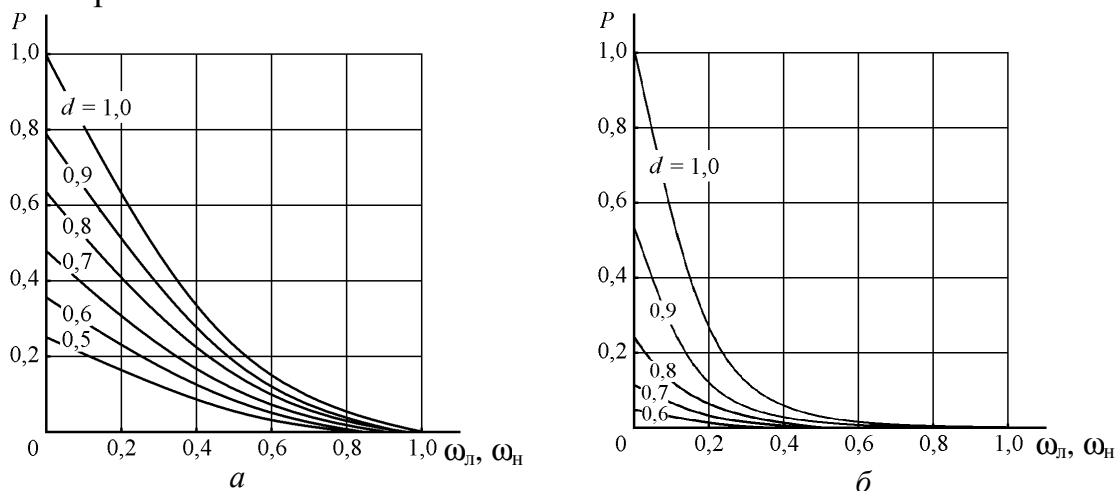


Рис. 2.9. Зависимости вероятности того, что в ЛС заготовка временно не ведется, транспорт леса имеет место, а нижние склады могут пребывать в различных состояниях работы и простоя ($n_2 = 2$):

$a - n_1 = 2$; $b - n_1 = 6$

ЛС рассматриваемого типа I_2 с двумя автономно работающими нижними складами имеют низкую вероятность такого состояния, в котором вывозка не ведется, нижний склад работает, а лесосечные работы могут как производиться, так и быть временно прекращены (рис. 2.10). Максимальное значение изучаемой вероятности составляет около 0,22 (для $n_1 = 2$). С ростом n_1 до 4 значение

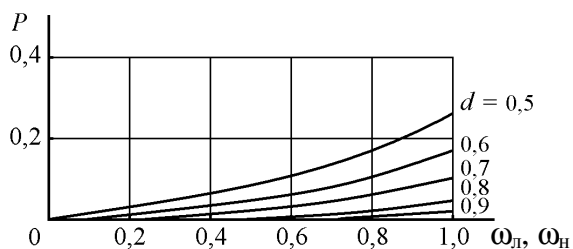


Рис. 2.10. Зависимости вероятности состояния ЛС, когда вывозка временно не ведется, нижние склады работают, а лесосечные работы могут пребывать в различных состояниях, от надежности элементов ЛС ($n_1 = 2$; $n_2 = 2$)

P_{IV} падает до 0,05 и при дальнейшем увеличении числа участков заготовки древесины быстро стремится к нулю. Отметим здесь же, что зависимость P_{IV} от указанных факторов $\omega_{ли}$, $\omega_{нж}$, d_{tij} монотонно возрастает на всей области значений факторов.

Как и в ЛС типа I_1 , возможность вывозки древесины как непосредственно с разрабатываемых лесосек, так и из запасов при временном отсутствии заготовки повышает значение работоспособности ЛС.

Оценим значение вероятности таких состояний ЛС (рис. 2.11). Наибольшее увеличение работоспособности ЛС при заложении в технологический процесс требования о таком характере функционирования ЛС достигается для параметров надежности элементов ЛС, лежащих в области $0,5 \leq \{\omega_{ли}, \omega_{нж}\} \leq 0,8$.

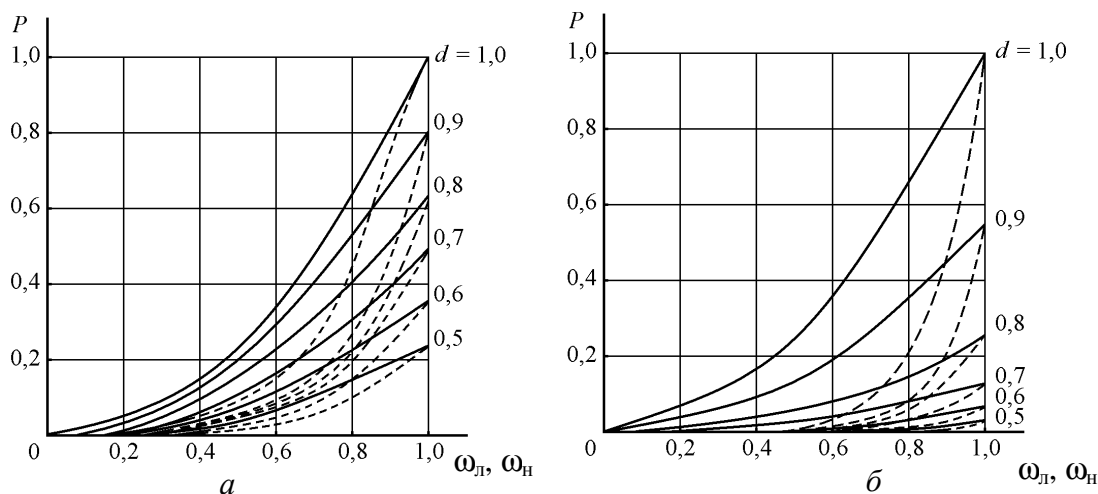


Рис. 2.11. Зависимости вероятности состояния ЛС, когда работают транспорт леса, нижние склады, заготовка может пребывать в различных состояниях, от параметров надежности элементов ЛС:
 $a - n_1 = 2$; $б - n_1 = 6$

При параметрах $\{\omega_{ли}, \omega_{нж}\} > 0,9$ и $\{\omega_{ли}, \omega_{нж}\} < 0,4$ рост работоспособности ЛС за счет рассматриваемого технологического решения несколько меньше. В ЛС с высокими (0,9 и более) и низкими (0,4 и менее) показателями работоспособности такое технологическое решение не приведет к существенному повышению работоспособности ЛС в целом. Штриховые линии на графиках (рис. 2.11) показывают уровень, с которого идет рост работоспособности ЛС, если состояние ЛС, когда все элементы и производственные участки работают одновременно, примем за начальный уровень

работоспособности.

Установим целесообразные направления развития и реконструкции ЛС, когда часть ЛС либо все производственные участки изменяются с целью повышения работоспособности (рис. 2.12).

Полученные зависимости позволяют оценить увеличение работоспособности ЛС при совершенствовании отдельных производственных участков. Верхний предел, согласно нормам технологического проектирования ЛС, принят 0,9.

В случаях, когда снабжение древесиной двух нижних складов осуществляется из двух мастерских участков, не имеет значения, чью работоспособность увеличивать: лесосечных работ, транспорта леса либо нижних складов. Работоспособность ЛС возрастает на одну и ту же величину. В нашем случае, например, при $d_T = 0,6$, $\omega_L = 0,6$, $\omega_H = 0,6$ величина ΔP_p составит 6%.

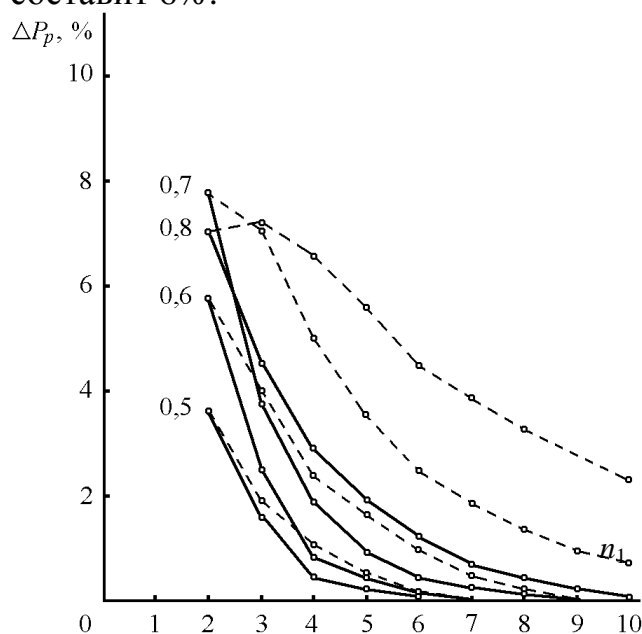


Рис. 2.12. Зависимости увеличения работоспособности ЛС при росте работоспособности нижнего склада либо транспорта леса при условии, что показатели работоспособности двух оставшихся фаз работ в ЛС неизменны:
— при повышении ω_H до 0,9 ($\omega_L = \text{const}$, $d = \text{const}$);
- - при увеличении d до 0,9 ($\omega_L = \text{const}$, $\omega_H = \text{const}$)

Общие закономерности на основании зависимостей (рис. 2.12) аналогичны ранее сформулированным для систем I_1 и, как показывают расчеты, будут общими для систем типа I_i .

2.3. Работоспособность лесопромышленных систем вида II

К рассматриваемому виду относятся ЛС, в которых транспортная связь между источниками добычи древесины и нижними лесными складами может осуществляться по двум маршрутам. Речь идет о частичном дублировании транспорта леса. ЛС вида II могут иметь до 50% транспортных связей с дублированием по вывозке древесины. В том случае, когда объем дублируемых транспортных связей в ЛС более 50%, они рассматриваются нами в подразделе 2.4.

Основываясь на полученном ранее выражении (2.2) и формулах (2.3–2.20), определим значение вероятности состояний ЛС, когда работоспособность сохраняют одновременно заготовка древесины, транспорт леса и нижнескладские работы, например, для ЛС с двумя участками заготовки для снабжения древесиной одного нижнего склада (тип II₁):

$$\begin{aligned} P_I &= \omega_{\varepsilon_1} \omega_{\varepsilon_2} \omega_i d_1 d_2 d_3 + \omega_{\varepsilon_1} \omega_{\varepsilon_2} \omega_i d_1 d_3 (1 - d_2) + \omega_{\varepsilon_1} \omega_{\varepsilon_2} \omega_i d_2 d_3 (1 - d_1) = \\ &= \omega_{\varepsilon_1} \omega_{\varepsilon_2} \omega_i [d_1 d_2 + d_1 (1 - d_2) + d_2 (1 - d_1)]. \end{aligned}$$

Здесь и далее d_3 характеризует резервную лесовозную магистраль.

Вероятность того, что ЛС находится в состояниях, в которых сохраняют работоспособность только вывозка леса и нижний склад, равна

$$\begin{aligned} P_{II} &= (1 - \omega_{\varepsilon_1})(1 - \omega_{\varepsilon_2})\omega_i d_1 d_2 d_3 + (1 - \omega_{\varepsilon_1})(1 - \omega_{\varepsilon_2})\omega_i d_1 d_3 (1 - d_2) + \\ &+ (1 - \omega_{\varepsilon_1})(1 - \omega_{\varepsilon_2})\omega_i d_2 d_3 (1 - d_1). \end{aligned}$$

Вероятность состояния ЛС, при котором заготовка временно не ведется, вывозка функционирует нормально, а нижний склад может находиться в любых состояниях, определится выражением

$$\begin{aligned} P_{III} &= (1 - \omega_{\varepsilon_1})(1 - \omega_{\varepsilon_2})\omega_i d_1 d_2 d_3 + (1 - \omega_{\varepsilon_1})(1 - \omega_{\varepsilon_2})\omega_i d_1 d_3 (1 - d_2) + \\ &+ (1 - \omega_{\varepsilon_1})(1 - \omega_{\varepsilon_2})\omega_i d_2 d_3 (1 - d_1) + (1 - \omega_{\varepsilon_1})(1 - \omega_{\varepsilon_2})(1 - \omega_i) d_1 d_2 d_3 + \\ &+ (1 - \omega_{\varepsilon_1})(1 - \omega_{\varepsilon_2})(1 - \omega_i) d_1 d_3 (1 - d_2) + (1 - \omega_{\varepsilon_1})(1 - \omega_{\varepsilon_2})(1 - \omega_i) d_2 d_3 (1 - d_1). \end{aligned}$$

Вероятность состояния ЛС, когда участки по заготовке древесины могут пребывать в различных состояниях (рабочем и нерабочем), вывозка не ведется, а нижний склад функционирует, равна

$$P_{IV} = \omega_{\text{ё}_1} \omega_{\text{ё}_2} \omega_i (1-d_1)(1-d_2)(1-d_3) + \omega_{\text{ё}_1} (1-\omega_{\text{ё}_2}) \omega_i (1-d_1)(1-d_2)(1-d_3) + \\ + (1-\omega_{\text{ё}_1})(1-\omega_{\text{ё}_2}) \omega_i (1-d_1)(1-d_2)(1-d_3) + \\ + (1-\omega_{\text{ё}_1}) \omega_{\text{ё}_2} \omega_i (1-d_1)(1-d_2)(1-d_3).$$

Вероятность состояния ЛС, при котором сохраняют работоспособность транспорт леса и нижний склад, а лесосечные работы ведутся либо временно не выполняются, составит

$$P_V = \omega_{\text{л}_1} \omega_{\text{л}_2} \omega_{\text{н}} d_1 d_2 d_3 + \omega_{\text{л}_1} \omega_{\text{л}_2} \omega_{\text{н}} d_1 d_3 (1-d_2) + \\ + \omega_{\text{л}_1} \omega_{\text{л}_2} \omega_{\text{н}} d_2 d_3 (1-d_1) + \\ + (1-\omega_{\text{л}_1}) \omega_{\text{л}_2} \omega_{\text{н}} d_1 d_2 d_3 + (1-\omega_{\text{л}_1}) \omega_{\text{л}_2} \omega_{\text{н}} d_1 d_3 (1-d_2) + \\ + (1-\omega_{\text{л}_1}) \omega_{\text{л}_2} \omega_{\text{н}} (1-d_1) d_2 d_3 + \omega_{\text{л}_1} (1-\omega_{\text{л}_2}) \omega_{\text{н}} d_1 d_2 d_3 + \\ + \omega_{\text{л}_1} (1-\omega_{\text{л}_2}) \omega_{\text{н}} d_1 d_3 (1-d_2) + \omega_{\text{л}_1} (1-\omega_{\text{л}_2}) \omega_{\text{н}} d_2 d_3 (1-d_1) + \\ + (1-\omega_{\text{л}_1})(1-\omega_{\text{л}_2}) \omega_{\text{н}} d_1 d_2 d_3 + (1-\omega_{\text{л}_1})(1-\omega_{\text{л}_2}) \omega_{\text{н}} d_1 d_3 (1-d_2) + \\ + (1-\omega_{\text{л}_1})(1-\omega_{\text{л}_2}) \omega_{\text{н}} d_2 d_3 (1-d_1).$$

Вероятность состояния ЛС, когда нормально функционирует только фаза лесосечных работ, определится следующим образом:

$$P_{VI} = \omega_{\text{ё}_1} \omega_{\text{ё}_2} (1-\omega_i)(1-d_1)(1-d_2)(1-d_3).$$

Вероятность состояния ЛС при функционирующем только транспорте леса составит

$$P_{VII} = (1-\omega_{\text{л}_1})(1-\omega_{\text{л}_2})(1-\omega_{\text{н}}) d_1 d_2 d_3 + (1-\omega_{\text{л}_1})(1-\omega_{\text{л}_2})(1-\omega_{\text{н}}) d_1 d_2 + \\ + (1-\omega_{\text{л}_1})(1-\omega_{\text{л}_2})(1-\omega_{\text{н}}) d_1 d_3.$$

Вероятность состояния ЛС, когда функционирует только нижний склад, равна

$$P_{VIII} = (1-\omega_{\text{ё}_1})(1-\omega_{\text{ё}_2}) \omega_i (1-d_1)(1-d_2)(1-d_3).$$

Вероятность состояния, при котором не функционируют все ЛС, определится из следующего уравнения:

$$P_{IX} = (1-\omega_{\text{ё}_1})(1-\omega_{\text{ё}_2})(1-\omega_i)(1-d_1)(1-d_2)(1-d_3).$$

Для удобства вывода общих аналитических формул по расчету ЛС с произвольным количеством n_1, n_2, m примем, что

$$\omega_{\text{ё}_1} = \omega_{\text{ё}_2} = \omega_{\text{ё}}, \quad d_1 = d_2 = d_3 = d_{\text{д}}.$$

Тогда получим следующую формулу:

$$P_I = \omega_L^2 \omega_H d_T^3 + \omega_L^2 \omega_H d_T^2 (1 - d_T) + \omega_L^2 \omega_H d_T^2 (1 - d_T) = \omega_L^2 \omega_H d_T^2 [d_T + 2(1 - d_T)].$$

Так как $[d_\delta + 2(1 - d_\delta)] > 1$, то это обеспечивает рост работоспособности всей ЛС до 50% при резервных лесовозных магистралях.

С учетом этих положений получены формулы для установления значений вероятностей состояний ЛС вида II:

$$\begin{cases} P_{II} = (1 - \omega_\varepsilon)^2 \omega_i d_\delta^2 [d_\delta + 2(1 - d_\delta)], \\ P_{III} = (1 - \omega_\varepsilon)^2 d_\delta^2 [d_\delta + 2(1 - d_\delta)], \\ P_{IV} = \omega_i (1 - d_\delta)^{\frac{3}{2}}, \\ P_V = \omega_i d_\delta^2 [d_\delta + 2(1 - d_\delta)], \\ P_{VI} = \omega_\varepsilon^2 (1 - d_\delta)^3 (1 - \omega_i), \\ P_{VII} = (1 - \omega_\varepsilon)^2 \omega_i d_\delta^2 [d_\delta + 2(1 - d_\delta)], \\ P_{VIII} = (1 - \omega_\varepsilon)^2 \omega_i (1 - d_\delta)^3, \\ P_{IX} = (1 - \omega_\varepsilon)^2 (1 - \omega_i) (1 - d_\delta)^3. \end{cases}$$

Обозначим $[d_\delta + 2(1 - d_\delta)] = A_1$. Тогда система формул для определения P_I, \dots, P_{IX} будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} P_I = \omega_L^2 \omega_H d_T^2 A_1, \\ P_{II} = (1 - \omega_L)^2 \omega_H d_T^2 A_1, \\ P_{III} = (1 - \omega_L)^2 d_T^2 A_1, \\ P_{IV} = \omega_H (1 - d_T)^{\frac{3}{2}}, \\ P_V = \omega_H d_T^2 A_1, \\ P_{VI} = \omega_L^2 (1 - d_T)^3 (1 - \omega_H), \\ P_{VII} = (1 - \omega_L)^2 \omega_H d_T^2 A_1, \\ P_{VIII} = (1 - \omega_L)^2 \omega_H (1 - d_T)^3, \\ P_{IX} = (1 - \omega_L)^2 (1 - \omega_H) (1 - d_T)^3. \end{cases} \quad (2.21)$$

Для ЛС, в которой четыре участка работают на один нижний склад, выражение для P_I определим как

$$\begin{aligned}
P_I &= \omega_{\text{в}}^4 \omega_{\text{г}} d_{\text{д}}^6 + 4\omega_{\text{в}}^4 \omega_{\text{г}} d_{\text{д}}^5 (1 - d_{\text{д}}) + 6\omega_{\text{в}}^4 \omega_{\text{г}} d_{\text{д}}^4 (1 - d_{\text{д}})^2 = \\
&= \omega_{\text{в}}^4 \omega_{\text{г}} d_{\text{д}}^4 \left[d_{\text{д}}^2 + 4d_{\text{д}}^{\frac{4}{2}-1} (1 - d_{\text{д}}) + 6d_{\text{д}}^{\frac{4}{2}-2} (1 - d_{\text{д}})^2 \right].
\end{aligned}$$

Аналогичным образом получены формулы для показателей $P_{\text{II}}, \dots, P_{\text{IX}}$. Система формул, позволяющая рассчитывать работоспособность ЛС типа Π_1 , имеет вид

$$\left\{ \begin{aligned}
P_I &= \omega_{\text{л}}^4 \omega_{\text{н}} d_{\text{т}}^4 A_2, \\
P_{\text{II}} &= \omega_{\text{н}} (1 - \omega_{\text{л}})^4 A_2, \\
P_{\text{III}} &= (1 - \omega_{\text{л}})^4 d_{\text{т}}^4 A_2, \\
P_{\text{IV}} &= \omega_{\text{н}} (1 - d_{\text{т}})^{\frac{3}{2}-4}, \\
P_V &= \omega_{\text{н}} d_{\text{т}}^4 A_2, \\
P_{\text{VI}} &= \omega_{\text{л}}^4 (1 - d_{\text{т}})^6 (1 - \omega_{\text{н}}), \\
P_{\text{VII}} &= (1 - \omega_{\text{л}})^4 \omega_{\text{н}} d_{\text{т}}^4 A_2, \\
P_{\text{VIII}} &= (1 - \omega_{\text{л}})^4 \omega_{\text{н}} (1 - d_{\text{т}})^6, \\
P_{\text{IX}} &= (1 - \omega_{\text{л}})^4 (1 - \omega_{\text{н}}) (1 - d_{\text{т}})^6, \\
A_2 &= \left[d_{\text{т}}^2 + 4d_{\text{т}}^{\frac{4}{2}-1} (1 - d_{\text{т}}) + 6d_{\text{т}}^{\frac{4}{2}-2} (1 - d_{\text{т}})^2 \right].
\end{aligned} \right. \quad (2.22)$$

В случае, когда вывозка на нижний склад осуществляется из шести участков, система формул для определения значений вероятностей $P_I, \dots, P_{\text{IX}}$ получена в форме

$$\begin{cases}
P_I = \omega_{\text{л}}^6 \omega_{\text{н}} d_{\text{т}}^6 A_3, \\
P_{II} = \omega_{\text{н}} (1 - \omega_{\text{л}})^6 A_3, \\
P_{III} = (1 - \omega_{\text{л}})^6 d_{\text{т}}^6 A_3, \\
P_{IV} = \omega_{\text{н}} (1 - d_{\text{т}})^{\frac{3}{2} \cdot 6}, \\
P_V = \omega_{\text{н}} d_{\text{т}}^6 A_3, \\
P_{VI} = \omega_{\text{л}}^6 (1 - d_{\text{т}})^9 (1 - \omega_{\text{н}}), \\
P_{VII} = (1 - \omega_{\text{л}})^6 \omega_{\text{н}} d_{\text{т}}^6 A_3, \\
P_{VIII} = (1 - \omega_{\text{л}})^6 \omega_{\text{н}} (1 - d_{\text{т}})^9, \\
P_{IX} = (1 - \omega_{\text{л}})^6 (1 - \omega_{\text{н}}) (1 - d_{\text{т}})^9, \\
A_3 = \left[d_{\text{т}}^3 + 6d_{\text{т}}^{\frac{6}{2}-1} (1 - d_{\text{т}}) + 12d_{\text{т}}^{\frac{6}{2}-2} (1 - d_{\text{т}})^2 + 20d_{\text{т}}^{\frac{6}{2}-3} (1 - d_{\text{т}})^3 \right].
\end{cases} \quad (2.23)$$

Анализируя системы выражений (2.16–2.23) и принимая число нижних складов в ЛС в общем случае n_2 , а производственных участков, которые заготавливают древесину в ЛС – n_1 , получим общие формулы для расчета работоспособности ЛС вида II:

$$\begin{aligned}
P_I = \omega_{\text{е}}^{n_1} \omega_{\text{л}}^{n_2} d_{\text{о}}^{n_1} & \left[d_{\text{о}}^{\frac{n_1}{2}} + \alpha_1 d_{\text{о}}^{\frac{n_1}{2}-1} (1 - d_{\text{о}}) + \alpha_2 d_{\text{о}}^{\frac{n_1}{2}-2} (1 - d_{\text{о}})^2 + \right. \\
& \left. + \alpha_3 d_{\text{о}}^{\frac{n_1}{2}-3} (1 - d_{\text{о}})^3 + K + \alpha_i (1 - d_{\text{о}})^{\frac{n_1}{2}} \right], \quad (2.24)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{II} = (1 - \omega_{\text{е}})^{n_1} \omega_{\text{л}}^{n_2} d_{\text{о}}^{n_1} & \left[d_{\text{о}}^{\frac{n_1}{2}} + \alpha_1 d_{\text{о}}^{\frac{n_1}{2}-1} (1 - d_{\text{о}}) + \alpha_2 d_{\text{о}}^{\frac{n_1}{2}-2} (1 - d_{\text{о}})^2 + \right. \\
& \left. + \alpha_3 d_{\text{о}}^{\frac{n_1}{2}-3} (1 - d_{\text{о}})^3 + K + \alpha_i (1 - d_{\text{о}})^{\frac{n_1}{2}} \right], \quad (2.25)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{III} = (1 - \omega_{\text{е}})^{n_1} d_{\text{о}}^{n_1} & \left[d_{\text{о}}^{\frac{n_1}{2}} + \alpha_1 d_{\text{о}}^{\frac{n_1}{2}-1} (1 - d_{\text{о}}) + \alpha_2 d_{\text{о}}^{\frac{n_1}{2}-2} (1 - d_{\text{о}})^2 + \right. \\
& \left. + \alpha_3 d_{\text{о}}^{\frac{n_1}{2}-3} (1 - d_{\text{о}})^3 + K + \alpha_i (1 - d_{\text{о}})^{\frac{n_1}{2}} \right], \quad (2.26)
\end{aligned}$$

$$P_{IV} = \omega_{\text{л}}^{n_2} (1 - d_{\text{о}})^{\frac{3}{2} n_1}, \quad (2.27)$$

$$P_V = \omega_H^{n_2} d_T^{n_1} \left[d_T^{\frac{n_1}{2}} + \alpha_1 d_T^{\frac{n_1}{2}-1} (1-d_T) + \alpha_2 d_T^{\frac{n_1}{2}-2} (1-d_T)^2 + \right. \\ \left. + \alpha_3 d_T^{\frac{n_1}{2}-3} (1-d_T)^3 + K + \alpha_i (1-d_T)^{\frac{n_1}{2}} \right], \quad (2.28)$$

$$P_{VI} = \omega_{\varepsilon}^{n_1} (1-d_{\delta})^{\frac{3}{2}n_1} (1-\omega_i)^{n_2}, \quad (2.29)$$

$$P_{VII} = (1-\omega_{\varepsilon})^{n_1} \omega_i^{n_2} d_{\delta}^{n_1} \left[d_{\delta}^{\frac{n_1}{2}} + \alpha_1 d_{\delta}^{\frac{n_1}{2}-1} (1-d_{\delta}) + \right. \\ \left. + \alpha_2 d_{\delta}^{\frac{n_1}{2}-2} (1-d_{\delta})^2 + K + \alpha_i (1-d_{\delta})^{\frac{n_1}{2}} \right], \quad (2.30)$$

$$P_{VIII} = (1-\omega_{\varepsilon})^{n_1} \omega_i^{n_2} (1-d_{\delta})^{\frac{3}{2}n_1}, \quad (2.31)$$

$$P_{IX} = (1-\omega_{\varepsilon})^{n_1} (1-\omega_i)^{n_2} (1-d_{\delta})^{\frac{3}{2}n_1}. \quad (2.32)$$

Коэффициенты $\{\alpha_1, \alpha_2, K, \alpha_i\}$ в формулах (2.24–2.32) находятся при расчете конкретной ЛС с конечными n_1, n_2, m . Для $n_1 \leq 8$ эти значения следующие:

$\alpha_1 = C_{n_1}^1; \alpha_2 = C_{n_1}^2 - \frac{n_1}{2}; \alpha_3 = C_{n_1}^3 - 2n_1;$

$\alpha_4 = C_{n_1}^4 - 12n_1$. Причем при $n_1 \leq 8$ значения n_1 четные. Расчет ЛС с нечетным числом участков заготовки древесины содержит определение значений работоспособности ЛС при смежных четных n_i и принятие среднего значения из двух определенных. Например, для $n_1 = 5$ устанавливается $P_i(n_1 = 4)$ и $P_i(n_1 = 6)$, а требуемое значение равно

$$P_i(n_1 = 5) = \frac{P_i(n_1 = 4) + P_i(n_1 = 6)}{2}.$$

2.4. Работоспособность лесопромышленных систем вида III

ЛС данного вида характеризуются в структурном отношении наличием резервных лесовозных магистралей, по которым возможна вывозка древесины в определенные моменты времени. Объем их в общем количестве транспортных магистралей в ЛС составляет 50–100%.

Взяв за основу выражение (2.2) и формулы (2.3–2.20), а также используя подход при установлении расчетных формул в подразделе

2.3, рассмотрим работоспособность ЛС, состоящей из двух участков заготовки древесины и одного нижнего склада, т. е. $n_1 = 2$; $n_2 = 1$; $m = 4$.

Значение вероятности P_I состояния ЛС равно

$$\begin{aligned} P_I = & \omega_{л_1} \omega_{л_2} \omega_{н} d_1 d_2 d_3 d_4 + \omega_{л_1} \omega_{л_2} \omega_{н} d_1 d_2 d_3 (1 - d_4) + \\ & + \omega_{л_1} \omega_{л_2} \omega_{н} d_1 d_2 d_4 (1 - d_3) + \omega_{л_1} \omega_{л_2} \omega_{н} d_1 d_3 d_4 (1 - d_2) + \\ & + \omega_{л_1} \omega_{л_2} \omega_{н} d_2 d_3 d_4 (1 - d_1) + \omega_{л_1} \omega_{л_2} \omega_{н} d_1 d_2 (1 - d_3)(1 - d_4) + \\ & + \omega_{л_1} \omega_{л_2} \omega_{н} d_1 d_4 (1 - d_2)(1 - d_3) + \omega_{л_1} \omega_{л_2} \omega_{н} d_2 d_3 (1 - d_1)(1 - d_4) + \\ & + \omega_{л_1} \omega_{л_2} \omega_{н} d_3 d_4 (1 - d_1)(1 - d_2). \end{aligned}$$

Здесь принято, что d_3 и d_4 определяют работоспособность резервных магистралей.

Значение вероятности P_{II} состояния ЛС составит

$$\begin{aligned} P_{II} = & (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_{н} d_1 d_2 d_3 d_4 + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_{н} d_1 d_2 d_3 (1 - d_4) + \\ & + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_{н} d_1 d_2 d_4 (1 - d_3) + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_{н} d_1 d_3 d_4 (1 - d_2) + \\ & + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_{н} d_2 d_3 d_4 (1 - d_1) + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_{н} d_1 d_2 (1 - d_3)(1 - d_4) + \\ & + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_{н} d_1 d_4 (1 - d_2)(1 - d_3) + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_{н} d_2 d_3 (1 - d_1)(1 - d_4) + \\ & + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_{н} d_3 d_4 (1 - d_1)(1 - d_2). \end{aligned}$$

Значение вероятности P_{III} состояния ЛС равно

$$\begin{aligned}
P_{III} = & (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_H d_1 d_2 d_3 d_4 + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_H d_1 d_2 d_3 (1 - d_4) + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_H d_1 d_2 d_4 (1 - d_3) + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_H d_1 d_3 d_4 (1 - d_2) + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_H d_2 d_3 d_4 (1 - d_1) + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_H d_1 d_2 (1 - d_3)(1 - d_4) + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_H d_1 d_4 (1 - d_2)(1 - d_3) + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_H d_2 d_3 (1 - d_1)(1 - d_4) + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_H d_3 d_4 (1 - d_1)(1 - d_2) + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_H) d_1 d_2 d_3 d_4 + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_H) d_1 d_2 d_3 (1 - d_4) + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_H) d_1 d_2 d_4 (1 - d_3) + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_H) d_1 d_3 d_4 (1 - d_2) + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_H) d_2 d_3 d_4 (1 - d_1) + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_H) d_1 d_2 (1 - d_3)(1 - d_4) + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_H) d_1 d_4 (1 - d_2)(1 - d_3) + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_H) d_2 d_3 (1 - d_1)(1 - d_4) + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_H) d_3 d_4 (1 - d_1)(1 - d_2).
\end{aligned}$$

Значение вероятности P_{IV} состояния ЛС составит

$$\begin{aligned}
P_{IV} = & \omega_{л_1} \omega_{л_2} \omega_H (1 - d_1)(1 - d_2)(1 - d_3)(1 - d_4) + \\
& + (1 - \omega_{л_1}) \omega_{л_2} \omega_H (1 - d_1)(1 - d_2)(1 - d_3)(1 - d_4) + \\
& + \omega_{л_1} (1 - \omega_{л_2}) \omega_H (1 - d_1)(1 - d_2)(1 - d_3)(1 - d_4) + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2}) \omega_H (1 - d_1)(1 - d_2)(1 - d_3)(1 - d_4).
\end{aligned}$$

Значение вероятности состояния ЛС, когда заготовка может пребывать в различных состояниях при работоспособных вывозке леса и нижнем складе, определится из выражения

$$\begin{aligned}
P_V = & \omega_{\varepsilon_1} \omega_{\varepsilon_2} \omega_I d_1 d_2 d_3 d_4 + (1 - \omega_{\varepsilon_1}) \omega_{\varepsilon_2} \omega_I d_1 d_2 d_3 d_4 + \\
& + \omega_{\varepsilon_1} (1 - \omega_{\varepsilon_2}) \omega_I d_1 d_2 d_3 d_4 + (1 - \omega_{\varepsilon_1})(1 - \omega_{\varepsilon_2}) \omega_I d_1 d_2 d_3 d_4.
\end{aligned}$$

Вероятность состояния ЛС, когда работоспособны все участки заготовки, составит

$$P_{VI} = \omega_{л_1} \omega_{л_2} (1 - \omega_H)(1 - d_1)(1 - d_2)(1 - d_3)(1 - d_4).$$

Вероятность состояния ЛС, когда функционирует только транспорт леса от всех участков заготовки найдем по формуле

$$\begin{aligned}
P_{VII} = & (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_{\text{н}})d_1d_2d_3d_4 + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_{\text{н}}) \times \\
& \times d_1d_2d_3(1 - d_4) + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_{\text{н}})d_1d_2d_4(1 - d_3) + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_{\text{н}})d_1d_3d_4(1 - d_2) + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_{\text{н}})d_2d_3d_4(1 - d_1) + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_{\text{н}})d_1d_2(1 - d_3)(1 - d_4) + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_{\text{н}})d_1d_4(1 - d_2)(1 - d_3) + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_{\text{н}})d_2d_3(1 - d_1)(1 - d_4) + \\
& + (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})(1 - \omega_{\text{н}})d_3d_4(1 - d_1)(1 - d_2).
\end{aligned}$$

Вероятность состояния ЛС, при котором работоспособен только лесной склад, равна

$$P_{VIII} = (1 - \omega_{\text{ё}_1})(1 - \omega_{\text{ё}_2})\omega_{\text{л}}(1 - d_1)(1 - d_2)(1 - d_3)(1 - d_4).$$

Вероятность состояния ЛС, когда одновременно не работают все участки ЛС, составит

$$P_{IX} = (1 - \omega_{\text{ё}_1})(1 - \omega_{\text{ё}_2})(1 - \omega_{\text{л}})(1 - d_1)(1 - d_2)(1 - d_3)(1 - d_4).$$

Положим, как и ранее в подразделе 2.2, что $\omega_{л_1} = \omega_{л_2} = \omega_{\text{л}}$; $\omega_{\text{н}_i} = \omega_{\text{н}}$; $d_1 = d_2 = d_3 = d_4 = d_{\text{д}}$.

Тогда работоспособность ЛС рассматриваемого вида можно рассчитать, пользуясь системой формул:

$$\begin{cases}
P_I = \omega_{\text{л}}^2 \omega_{\text{н}} d_{\text{т}}^2 \left[d_{\text{т}}^2 + 4d_{\text{т}}(1 - d_{\text{т}}) + 4d_{\text{т}}(1 - d_{\text{т}})^2 \right], \\
P_{II} = (1 - \omega_{\text{л}})^2 \omega_{\text{н}} d_{\text{т}}^2 \left[d_{\text{т}}^2 + 4d_{\text{т}}(1 - d_{\text{т}}) + 4d_{\text{т}}(1 - d_{\text{т}})^2 \right], \\
P_{III} = (1 - \omega_{\text{л}})^2 d_{\text{т}}^2 \left[d_{\text{т}}^2 + 4d_{\text{т}}(1 - d_{\text{т}}) + 4d_{\text{т}}(1 - d_{\text{т}})^2 \right], \\
P_{IV} = \omega_{\text{н}} (1 - d_{\text{т}})^4, \\
P_V = \omega_{\text{н}} d_{\text{т}}^2 \left[d_{\text{т}}^2 + 4d_{\text{т}}(1 - d_{\text{т}}) + 4d_{\text{т}}(1 - d_{\text{т}})^2 \right], \\
P_{VI} = \omega_{\text{л}}^2 (1 - d_{\text{т}})^4 (1 - \omega_{\text{н}}), \\
P_{VII} = (1 - \omega_{\text{л}})^2 \omega_{\text{н}} d_{\text{т}}^2 \left[d_{\text{т}}^2 + 4d_{\text{т}}(1 - d_{\text{т}}) + 4d_{\text{т}}(1 - d_{\text{т}})^2 \right], \\
P_{VIII} = (1 - \omega_{\text{л}})^2 \omega_{\text{н}} (1 - d_{\text{т}})^4, \\
P_{IX} = (1 - \omega_{\text{л}})^2 (1 - \omega_{\text{н}}) (1 - d_{\text{т}})^4.
\end{cases} \quad (2.33)$$

Переходя к общему случаю ЛС вида III, содержащих n_1 производственных участков заготовки древесины, n_2 лесных складов и

m лесовозных дорог с выполняемым транспортом леса, выражения для определения параметров работоспособности ЛС в различных состояниях их эксплуатации будут иметь следующий вид (рис. 2.13).

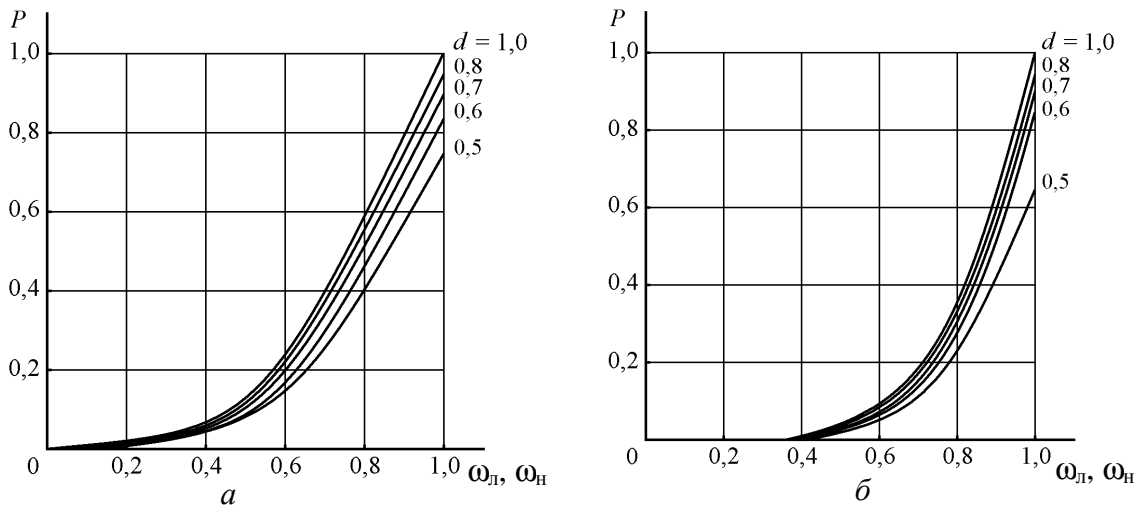


Рис. 2.13. Зависимости вероятности того, что все фазы в ЛС работают, от параметров надежности участков для ЛС вида III ($n_2 = 1$):
 $a - n_1 = 2$; $б - n_1 = 4$

Вероятность того, что все участки заготовки древесины, транспорт леса и нижние склады работают, равна

$$P_I = \omega_L^{n_1} \omega_H^{n_1} d_T^{n_1} \left[d_T^{n_1} + C_m^1 d_T^{n_1-1} (1 - d_T) + C_m^2 d_T^{n_1-2} (1 - d_T)^2 + K + C_m^{\frac{m}{2}} (1 - d_T)^{n_1} \right]. \quad (2.34)$$

Здесь C_m^i – сочетание, где m – число всех транспортных связей, включая и возможные резервные; i – число магистралей, по которым не ведется временно транспорт леса.

Вероятность того, что работают вывозка и нижние склады, а заготовка временно не ведется, составит

$$P_{II} = (1 - \omega_L)^{n_1} \omega_H^{n_1} d_T^{n_1} \left[d_T^{n_1} + C_m^1 d_T^{n_1-1} (1 - d_T) + C_m^2 d_T^{n_1-2} (1 - d_T)^2 + K + C_m^{\frac{m}{2}} (1 - d_T)^{n_1} \right]. \quad (2.35)$$

Вероятность того, что заготовка временно не ведется, вывозка леса функционирует нормально, а склады могут пребывать в различных состояниях, определится по формуле

$$P_{III} = (1 - \omega_{II})^{n_1} d_T^{n_1} \left[d_T^{n_1} + C_m^1 d_T^{n_1-1} (1 - d_T) + \right. \\ \left. + C_m^2 d_T^{n_1-2} (1 - d_T)^2 + K + C_m^{\frac{m}{2}} (1 - d_T)^{n_1} \right]. \quad (2.36)$$

Вероятность того, что лесосечные работы могут пребывать в различных состояниях, вывозки леса нет, а нижние склады функционируют нормально, равна

$$P_{IV} = \omega_I^{n_2} (1 - d_{\delta})^{2n_1}, \quad 2n_1 m. \quad (2.37)$$

Вероятность того, что заготовка может пребывать в различных состояниях при работающей вывозке леса и нижних складах, составит

$$P_V = \omega_H^{n_2} d_T^{n_1} \left[d_T^{n_1} + C_m^1 d_T^{n_1-1} (1 - d_T) + \right. \\ \left. + C_m^2 d_T^{n_1-2} (1 - d_T)^2 + K + C_m^{\frac{m}{2}} (1 - d_T)^{n_1} \right]. \quad (2.38)$$

Вероятность состояния ЛС, когда работают с полной загрузкой только участки заготовки древесины, определится по формуле

$$P_{VI} = \omega_{\varepsilon}^{n_1} (1 - d_{\delta})^{2n_1} (1 - \omega_I)^{n_2}. \quad (2.39)$$

Вероятность того, что функционирует только транспорт леса, равна

$$P_{VII} = (1 - \omega_{\varepsilon})^{n_1} (1 - \omega_I)^{n_2} d_{\delta}^{n_1} \left[d_{\delta}^{n_1} + C_m^1 d_{\delta}^{n_1-1} (1 - d_{\delta}) + \right. \\ \left. + C_m^2 d_{\delta}^{n_1-2} (1 - d_{\delta})^2 + K + C_m^{\frac{m}{2}} (1 - d_{\delta})^{n_1} \right]. \quad (2.40)$$

Вероятность состояния ЛС, при котором функционируют только лесные склады при неработающих остальных производственных участках, составит

$$P_{VIII} = (1 - \omega_{\varepsilon})^{n_1} (1 - d_{\delta}) \omega_I^{n_2}. \quad (2.41)$$

Вероятность состояния ЛС, когда одновременно не работают все производственные участки, определится по формуле

$$P_{IX} = (1 - \omega_{\varepsilon})^{n_1} (1 - d_{\delta})^m (1 - \omega_I)^{n_2}. \quad (2.42)$$

Анализ состояния ЛС, когда функционируют вывозка древесины и нижние склады, а заготовка временно не ведется (рис. 2.14), позволил установить, что значения вероятности таких состояний стремятся к нулю при условии, что $d_{\delta} \rightarrow 0$, $\omega_{\varepsilon} \rightarrow 0$, $\omega_I \rightarrow 0$.

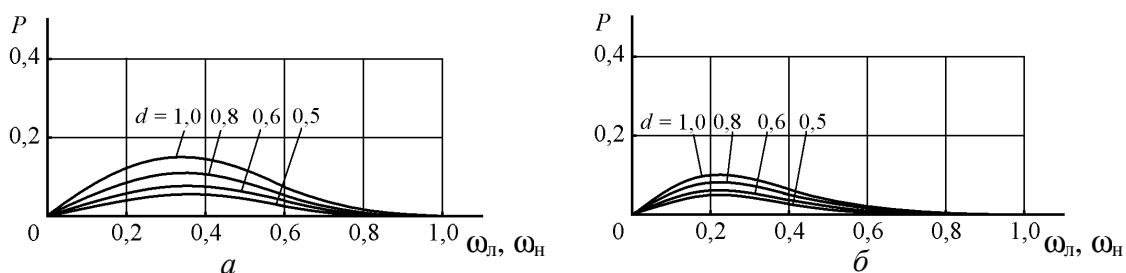


Рис. 2.14. Вероятности того, что в ЛС работают вывозка и нижние склады, а заготовка временно не ведется ($n_2 = 1$):

$a - n_1 = 2$; $б - n_1 = 4$

Пренебречь значениями P_{III} , например для ЛС с одним нижним складом, можно из-за малости P_{III} (меньше 0,05) при диапазонах параметров, приведенных в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Диапазоны параметров вероятности P_{III}

n_1	$\omega_{\bar{e}}$	ω_i	d_{δ}
1	0,95–1,0	0,5–1,0	0,6–1,0
	0,90–1,0	0,5–1,0	0,5–0,6
	0,50–1,0	0–0,5	0,6–1,0
	0,50–1,0	0–0,1	0,5–0,6
2	0,78–1,0	0,5–1,0	0,8–1,0
	0,70–1,0	0,5–1,0	0,5–0,8
	0,50–1,0	0,05–0	0,5–1,0
4	0,55–1,0	0,5–1,0	0,5–1,0
	0,5–1,0	0,05–0	0,5–1,0
6	0,4–1,0	0,5–1,0	0,5–1,0
8	Все диапазоны		

Максимально достижимое значение P_{II} зависит от параметров $\omega_{\bar{e}}$, ω_i и n_1 и в меньшей степени от d_{δ} . Так, максимальные значения P_{II} для ЛС вида III достигаются при следующих условиях:

$$n_1 = 1, \{ \omega_{\bar{e}}, \omega_i \} = 0,5;$$

$$n_1 = 2, \{ \omega_{\bar{e}}, \omega_i \} = 0,35;$$

$$n_1 = 3, \{ \omega_{\bar{e}}, \omega_i \} = 0,2;$$

$$n_1 = 4, \{ \omega_{\bar{e}}, \omega_i \} = 0,15.$$

Если ввести условие, что при временном отсутствии заготовки древесины и функционировании ее вывозки нижний склад может пребывать в различных состояниях, то характер кривых принципиально изменится (рис. 2.15). Максимальные значения вероятностей P_{III} для таких состояний будут при малых значениях

параметра $\omega_{\text{л}}$. Для $\omega_{\text{л}} \geq 0,7$ P_{III} практически равно нулю.

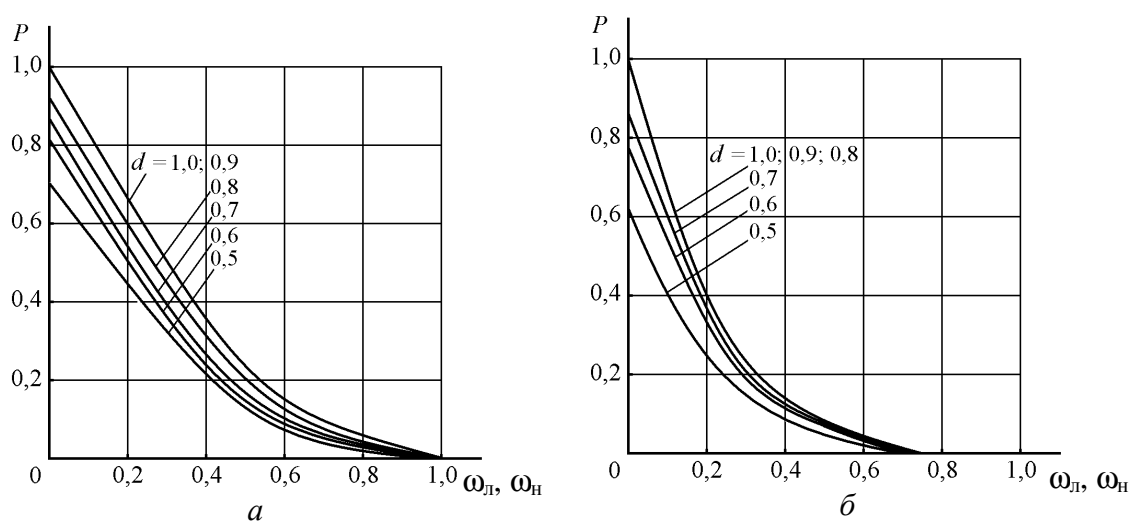


Рис. 2.15. Вероятности того, что заготовка древесины временно не ведется, вывозка леса функционирует нормально, а нижние склады могут пребывать в различных состояниях ($n_1 = 1$):
 $a - n_1 = 2$; $b - n_1 = 4$

Оценим работоспособность ЛС, когда лесосечные работы могут пребывать в различных состояниях, вывозка временно не ведется, а нижний склад нормально функционирует (рис. 2.16). Наиболее напряженный режим в таком случае на нижнем складе – он должен работать из внутренних источников, т. е. из запасов.

Наибольшие значения вероятности P_{IV} состояний ЛС с минимальным числом участков, которые осуществляют снабжение склада древесиной, имеют ЛС, где есть один либо два участка. Так, для $n_1 = 1$ значение P_{IV} достигает 15% от общего времени работы ЛС. С увеличением числа участков до $n_1 = 2$ величина P_{IV} уменьшается до 3%, а начиная с $n_1 = 4$ практически может не рассматриваться, так как в этих случаях $P_{\text{IV}} < 0,4\%$.

Наибольшие значения вероятности P_{IV} имеют место при больших значениях $\omega_{\text{л}}$ и $\omega_{\text{н}}$ (более 0,7). Снижение надежности вывозки увеличивает P_{IV} . Так, повышение надежности работы нижнего склада на 10% позволяет получить рост работоспособности ЛС на 1–2% ($n_1 = 1$). В то же время увеличение надежности вывозки древесины на эту же величину поднимает работоспособность на 4–6% ($n_1 = 1$). Полученные пропорции сохраняются для ЛС рассматриваемого вида и с повышением числа n_1 .

Предельная работоспособность ЛС оценивается из зависимостей, приведенных на рис. 2.17.

Установлено, что для ЛС с $d_{\text{т}} \geq 0,6$ работоспособность возрастает с увеличением числа участков n_1 для любых $\omega_{\text{л}}$ и $\omega_{\text{н}}$. Если $d_{\text{т}} < 0,6$, то общая работоспособность ЛС будет снижаться с повышением числа участков n_1 для всего возможного диапазона значений параметров $\omega_{\text{л}}$ и $\omega_{\text{н}}$.

В случае использования запасов при условии их оптимальности как в аспекте размеров, так и в управлении ими [2] предельные значения параметров работоспособности ЛС будут выше, нежели установленные на рис. 2.17 (сплошные линии).

Согласно зависимостям (рис. 2.18), работоспособность ЛС в целом возрастает для всех диапазонов параметров $\omega_{\text{л}}$, $\omega_{\text{н}}$, $d_{\text{т}}$, но не однозначно. Так, при значениях указанных параметров, равных 0,5, этот рост (ΔP) составляет 2%, а при 0,9 значение ΔP достигает 7%. В случаях, когда параметры $\omega_{\text{л}}$, $\omega_{\text{н}}$, $d_{\text{т}}$ совместно устремлены к max, ΔP стремится к min, а в пределе получаем $\lim \Delta P \rightarrow 0$.

$$\left\{ \begin{matrix} \omega_{\text{л}} \\ \omega_{\text{н}} \\ d_{\text{т}} \end{matrix} \right\} \rightarrow 1$$

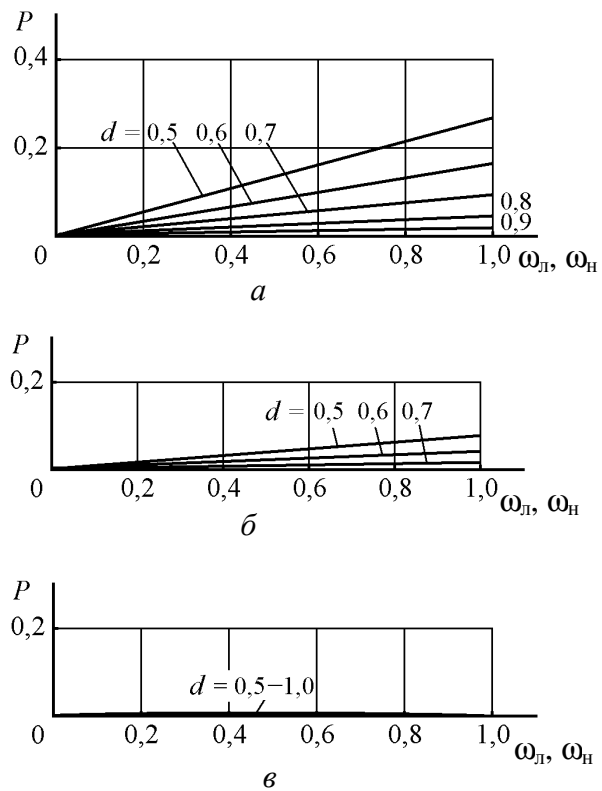


Рис. 2.16. Вероятности того, что лесосечные работы могут пребывать в различных состояниях, вывозка леса временно не ведется, а нижние склады функционируют нормально ($n_2 = 1$):
а – $n_1 = 1$; б – $n_1 = 2$; в – $n_1 = 4$

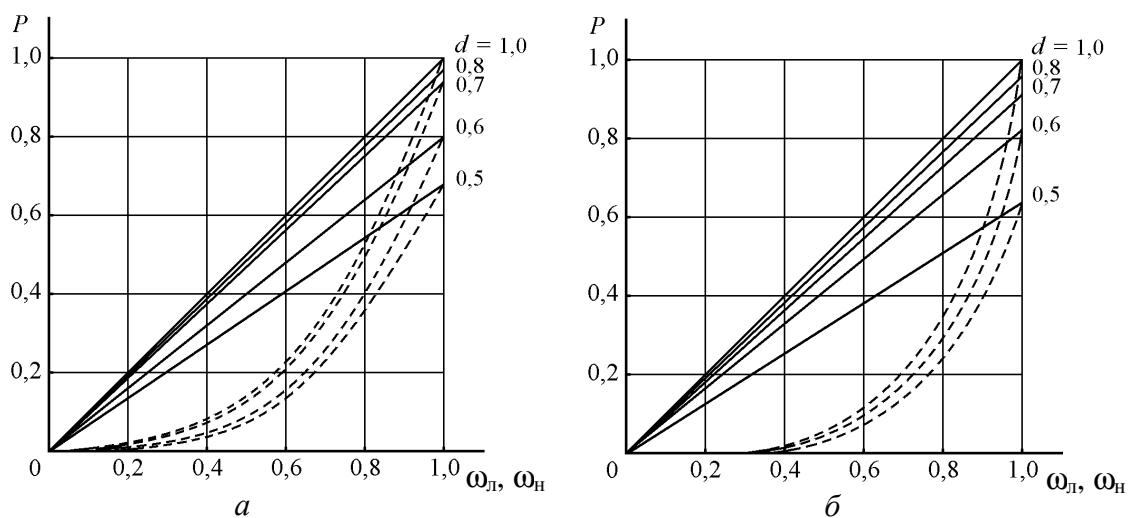


Рис. 2.17. Вероятности того, что заготовка может пребывать в различных состояниях, а все остальные участки ЛС работают:
 $a - n_1 = 2$; $b - n_1 = 4$

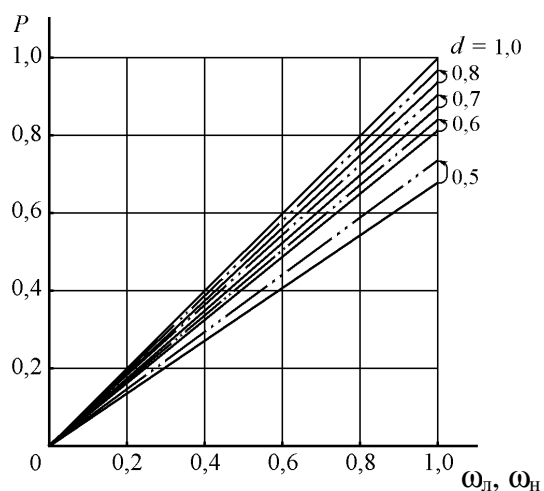


Рис. 2.18. Зависимости максимальной работоспособности ЛС с одновременным функционированием участков и запасов древесины на лесосеке

В практических расчетах $\Delta P = 0$ в областях параметров $\{\omega_L, \omega_H, d_T\} > 0,8$.

2.5. Работоспособность лесопромышленных систем вида IV

В структурном отношении ЛС рассматриваемого вида являются развитием ЛС вида I. Введение в ЛС промплощадок, на которых могут быть сосредоточены в зависимости от назначения операции разгрузки, очистки стволов от сучьев, раскряжевки, погрузки древесины на подвижной состав лесовозных дорог, усложняет ЛС.

Так, одной из отрицательных сторон подобных ЛС являются обязательные дополнительные затраты на перевалочные операции. Однако есть и *положительные аспекты* применения таких ЛС:

а) появляется возможность повысить степень использования всей биомассы добываемых деревьев;

б) определяется возможность увеличить ритмичность вывозки древесины на нижние склады, поскольку вторичная вывозка будет, как правило, вестись по дорогам общего пользования;

в) имеется возможность внести положительные структурные изменения в поставки круглых лесоматериалов потребителям, часть древесины может непосредственно отправляться с промплощадок потребителям с помощью автомобильного транспорта.

Методику вывода формул для расчета ЛС рассматриваемого вида принимаем аналогично подразделу 2.4. Получим зависимости, по которым можно будет рассчитывать работоспособность таких ЛС. Для вывода формул примем, что ЛС состоит из двух участков, заготавливающих древесину, одной промплощадки и одного нижнего склада (рис. 2.19).

Вероятность того, что одновременно работоспособны все производственные участки ЛС, равна

$$P_I = \omega_{\varepsilon_1} \omega_{\varepsilon_2} \omega_i \omega_{\bar{i}} d_{11} d_{12} d_{21},$$

где ω_{ε_1} , ω_{ε_2} – параметры работоспособности соответственно первого и второго участков заготовки; ω_i – работоспособность промплощадки с имеющимся оборудованием; $\omega_{\bar{i}}$ – работоспособность нижнего склада; d_{11} , d_{12} – показатели надежности транспорта леса соответственно по магистралям от первого и второго участков заготовки только до промплощадки; d_{21} – работоспособность транспорта древесины от промплощадки до нижнего склада.

Здесь и далее индекс $1i$ относится к транспорту древесины до промплощадки, а $2i$ – после промплощадки до нижнего склада.

Вероятность таких состояний ЛС, когда заготовка древесины

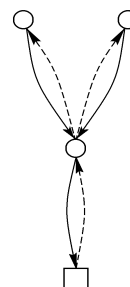


Рис. 2.19. Структура ЛС вида IV

временно не ведется, а транспорт древесины, промплощадки и нижний склад функционируют нормально, равна

$$P_{II} = (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_{п}\omega_{н}d_{11}d_{12}d_{21}.$$

Вероятность того, что заготовка древесины временно не ведется, вывозка и промплощадка функционируют нормально, а нижний склад может пребывать в любых состояниях (как рабочих, так и не рабочих), определится из формулы

$$P_{III} = (1 - \omega_{л_1})(1 - \omega_{л_2})\omega_{п}d_{11}d_{12}d_{21}.$$

Вероятность такого состояния ЛС, при котором лесосечные работы могут пребывать в различных состояниях, вывозка древесины не ведется, а нижний склад работает, равна

$$P_{IV} = \omega_{н}(1 - \omega_{п})(1 - d_{11})(1 - d_{12})(1 - d_{21}).$$

Если добавить условие о работе промплощадки и вывозки с нее древесины, то значение вероятности состояний ЛС составит

$$P_V = \omega_{н}\omega_{п}(1 - d_{11})(1 - d_{12})d_{21}.$$

При дополнительном условии о неработающей промплощадке, когда древесина вывозится из имеющихся там запасов и доставляется на нижний склад, вероятность таких состояний равна

$$P_{VI} = \omega_{н}(1 - \omega_{п})(1 - d_{11})(1 - d_{12})d_{21}.$$

Вероятность того, что все элементы ЛС не работают, определится из выражения

$$P_{VII} = (1 - \omega_{\text{ё}_1})(1 - \omega_{\text{ё}_2})(1 - \omega_{\text{і}})(1 - \omega_{\text{і}})(1 - d_{11})(1 - d_{12})(1 - d_{21}).$$

Вероятность того, что лесосечные работы могут пребывать в различных состояниях, а все остальные участки функционируют нормально, составит

$$P_{VIII} = \omega_{\text{і}}\omega_{\text{і}}d_{11}d_{12}d_{21}.$$

Пусть в общем случае ЛС рассматриваемого вида имеет n_1 участков заготовки древесины на лесосеке, n_2 нижних складов, n_3 промплощадок, m_1 транспортных связей до промплощадок и m_2 транспортных связей после промплощадок. Тогда система формул, позволяющих всесторонне оценить работоспособность ЛС и ее поведение в различных ситуациях, возникающих при эксплуатации, имеет следующий вид:

$$P_I = \prod_{k \in M_{\text{ё}\delta}} \omega_{\text{ё}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{і}\delta}} \omega_{\text{і}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{і}\delta}} \omega_{\text{і}k} \cdot \prod_{k \in M_{1\delta\delta}} d_{1\delta k} \cdot \prod_{k \in M_{2\delta\delta}} d_{2\delta k}, \quad (2.43)$$

$$\begin{aligned}
P_I &= (\omega_{\pi_1} \omega_{\pi_2} \dots \omega_{\pi_{n_1}})(\omega_{\pi_1} \omega_{\pi_2} \dots \omega_{\pi_{n_2}}) \times \\
&\times (\omega_{\pi_1} \omega_{\pi_2} \dots \omega_{\pi_{n_3}})(d_{11} d_{12} \dots d_{1m_1})(d_{21} d_{22} \dots d_{2m_2}). \\
P_{II} &= \prod_{l \in M_{\pi\pi}} (1 - \omega_{\pi l}) \cdot \prod_{k \in M_{\pi\pi}} \omega_{\pi k} \cdot \prod_{k \in M_{\pi\pi}} \omega_{\pi k} \cdot \prod_{k \in M_{1\pi\pi}} d_{1\pi k} \cdot \prod_{k \in M_{2\pi\pi}} d_{2\pi k}, \quad (2.44)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{II} &= (1 - \omega_{\pi_1})(1 - \omega_{\pi_2}) \dots \omega_{\pi_{n_1}} (\omega_{\pi_1} \omega_{\pi_2} \dots \omega_{\pi_{n_2}}) \times \\
&\times (\omega_{\pi_1} \omega_{\pi_2} \dots \omega_{\pi_{n_3}})(d_{11} d_{12} \dots d_{1m_1})(d_{21} d_{22} \dots d_{2m_2}). \\
P_{III} &= \prod_{l \in M_{\pi\pi}} (1 - \omega_{\pi l}) \cdot \prod_{k \in M_{\pi\pi}} \omega_{\pi k} \cdot \prod_{k \in M_{\pi\pi}} \omega_{\pi k} \times \\
&\times \prod_{l \in M_{\pi\pi}} (1 - \omega_{\pi l}) \cdot \prod_{k \in M_{1\pi\pi}} d_{1\pi k} \cdot \prod_{k \in M_{2\pi\pi}} d_{2\pi k}. \quad (2.45)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{IV} &= \prod_{k \in M_{\pi\pi}} \omega_{\pi k} \cdot \prod_{l \in M_{\pi\pi}} (1 - \omega_{\pi l}) \cdot \prod_{l \in M_{\pi\pi}} (1 - \omega_{\pi l}) \times \\
&\times \prod_{l \in M_{\pi\pi}} \omega_{\pi l} \cdot \prod_{k \in M_{1\pi\pi}} (1 - d_{1\pi k}) \cdot \prod_{k \in M_{2\pi\pi}} (1 - d_{2\pi k}). \quad (2.46)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_V &= \prod_{k \in M_{\pi\pi}} \omega_{\pi k} \cdot \prod_{l \in M_{\pi\pi}} (1 - \omega_{\pi l}) \cdot \prod_{l \in M_{\pi\pi}} \omega_{\pi l} \times \\
&\times \prod_{k \in M_{\pi\pi}} \omega_{\pi k} \cdot \prod_{l \in M_{1\pi\pi}} (1 - d_{1\pi l}) \cdot \prod_{k \in M_{2\pi\pi}} d_{2\pi k}. \quad (2.47)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{VI} &= \prod_{k \in M_{\pi\pi}} \omega_{\pi k} \cdot \prod_{l \in M_{\pi\pi}} (1 - \omega_{\pi l}) \cdot \prod_{l \in M_{\pi\pi}} (1 - \omega_{\pi l}) \times \\
&\times \prod_{k \in M_{\pi\pi}} \omega_{\pi k} \cdot \prod_{l \in M_{1\pi\pi}} (1 - d_{1\pi l}) \cdot \prod_{k \in M_{2\pi\pi}} d_{2\pi k}, \quad (2.48)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{VII} &= (\omega_{\pi_1} \omega_{\pi_2} \dots \omega_{\pi_i})(1 - \omega_{\pi_{i+1}}) \dots (1 - \omega_{\pi_{n_1}})(1 - \omega_{\pi_1})(1 - \omega_{\pi_2}) \dots (1 - \omega_{\pi_{n_3}}) \times \\
&\times (\omega_{\pi_1} \dots \omega_{\pi_{n_2}})(1 - d_{11})(1 - d_{12}) \dots (1 - d_{1m_1})(d_{21} d_{22} \dots d_{2m_2}).
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{VII} &= \prod_{l \in M_{\pi\pi}} (1 - \omega_{\pi l}) \cdot \prod_{l \in M_{\pi\pi}} (1 - \omega_{\pi l}) \times \\
&\times \prod_{l \in M_{\pi\pi}} (1 - \omega_{\pi l}) \cdot \prod_{l \in M_{1\pi\pi}} (1 - d_{1\pi l}) \cdot \prod_{l \in M_{2\pi\pi}} (1 - d_{2\pi l}). \quad (2.49)
\end{aligned}$$

$$P_{VIII} = \prod_{k \in M_{\pi\pi}} \omega_{\pi k} \cdot \prod_{l \in M_{\pi\pi}} (1 - \omega_{\pi l}) \cdot \prod_{k \in M_{\pi\pi}} \omega_{\pi k} \cdot \prod_{k \in M_{\pi\pi}} \omega_{\pi k} \cdot \prod_{k \in M_{1\pi\pi}} d_{1\pi k} \cdot \prod_{k \in M_{2\pi\pi}} d_{2\pi k}, \quad (2.50)$$

$$\begin{aligned}
P_{VIII} &= (\omega_{\pi_1} \omega_{\pi_2} \dots \omega_{\pi_i})(1 - \omega_{\pi_{i+1}}) \dots (1 - \omega_{\pi_{n_1}}) \times \\
&\times (\omega_{\pi_1} \dots \omega_{\pi_{n_2}})(\omega_{\pi_1} \dots \omega_{\pi_{n_3}})(d_{11} \dots d_{1m_1})(d_{21} \dots d_{2m_2}).
\end{aligned}$$

Сделаем допущение о том, что $\omega_{\ddot{e}_1} = \omega_{\ddot{e}_2} = K = \omega_{\ddot{e}_{n_1}} = \omega_{\ddot{e}};$
 $\omega_{i_1} = \omega_{i_2} = K = \omega_{i_{n_2}} = \omega_i;$ $\omega_{i_1} = K = \omega_{i_{n_3}} = \omega_i;$ $d_{11} = d_{12} = K = d_{1m_1} = d_1;$
 $d_{21} = d_{22} = K = d_{2m_1} = d_2.$

Подобное допущение вполне приемлемо, так как участки, выполняющие одни и те же функции, как правило, стремятся проектировать и формировать однотипными, и их параметры отличаются незначительно. Тогда выражения (2.43–2.50) примут вид

$$P_I = \omega_{\text{л}}^{n_1} \omega_{\text{н}}^{n_2} \omega_{\text{п}}^{n_3} d_1^{m_1} d_2^{m_2}, \quad (2.51)$$

$$P_{II} = (1 - \omega_{\text{л}})^{n_1} \omega_{\text{н}}^{n_2} \omega_{\text{п}}^{n_3} d_1^{m_1} d_2^{m_2}, \quad (2.52)$$

$$P_{III} = (1 - \omega_{\text{л}})^{n_1} \omega_{\text{п}}^{n_3} d_1^{m_1} d_2^{m_2}, \quad (2.53)$$

$$P_{IV} = \omega_{\text{н}}^{n_2} (1 - \omega_{\text{п}})^{n_3} d_1^{m_1} (1 - d_2)^{m_2}, \quad (2.54)$$

$$P_V = \omega_{\text{н}}^{n_2} \omega_{\text{п}}^{n_3} (1 - d_1)^{m_1} d_2^{m_2}, \quad (2.55)$$

$$P_{VI} = \omega_{\text{н}}^{n_2} (1 - \omega_{\text{п}})^{n_3} (1 - d_1)^{m_1} d_2^{m_2}, \quad (2.56)$$

$$P_{VII} = (1 - \omega_{\text{л}})^{n_1} (1 - \omega_{\text{н}})^{n_2} (1 - \omega_{\text{п}})^{n_3} (1 - d_1)^{m_1} (1 - d_2)^{m_2}, \quad (2.57)$$

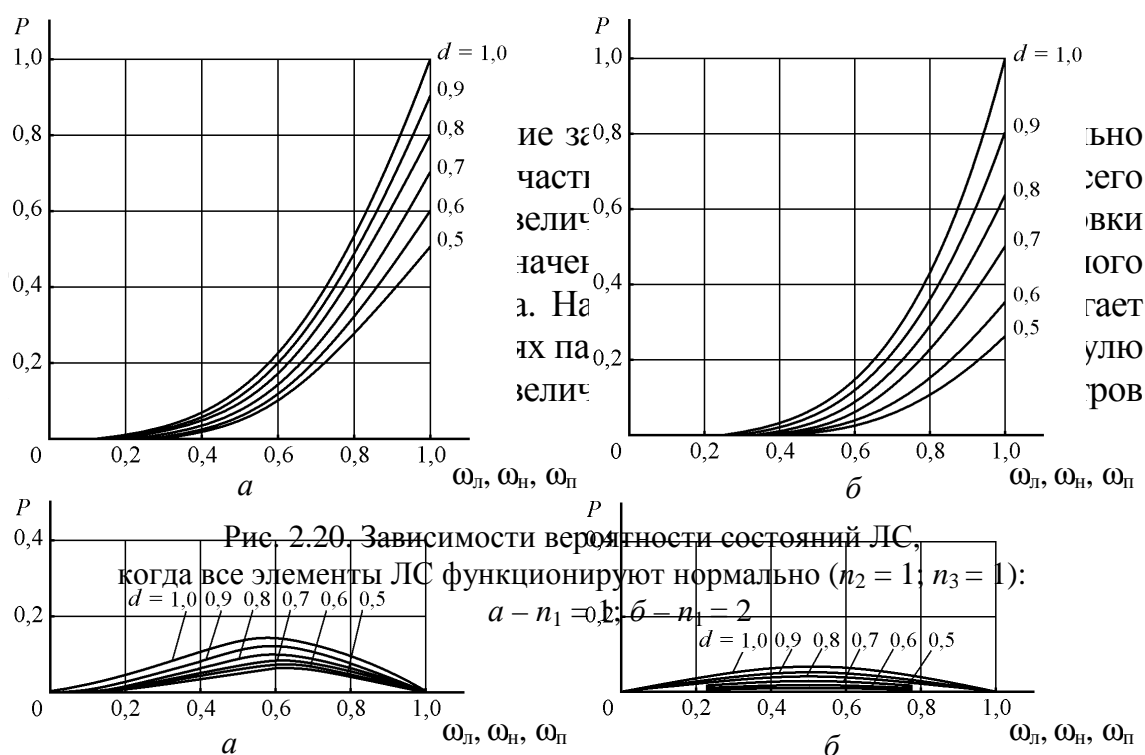
$$P_{VIII} = \omega_{i_1}^{n_2} \omega_{i_1}^{n_3} d_1^{m_1} d_2^{m_2}. \quad (2.58)$$

Значения параметров d_1 и d_2 в полученных формулах будут отличны от значений этих же параметров в ранее полученных выражениях, поскольку общая протяженность лесовозных магистралей для систем с промплощадками разделена на две части. Работоспособность транспорта леса определяется до промплощадок и после них. Параметры работоспособности $\omega_{\text{л}}$, $\omega_{\text{н}}$ аналогичны ранее приведенным.

Анализ графиков, построенных по формулам (2.51–2.58), позволяет установить закономерности работоспособности ЛС с изменением структуры и характеристик производственных участков.

Важным показателем ЛС является стабильность технологического процесса, которую можно оценить вероятностью того, что в ЛС функционируют одновременно все производственные фазы (лесосечные работы, транспорт леса, промплощадки и нижние склады). Чем выше эта характеристика, тем совершеннее ЛС, тем меньше следует создавать запасов древесины между участками и операциями. Наивысшее значение P_I характерно ЛС с минимальным числом участков ($n_1 = 1; n_2 = 1; n_3 = 1$) (рис. 2.20).

Максимальный рост P_1 достигается при увеличении работоспособности участков в диапазоне параметров $\{\omega_{\text{л}}, \omega_{\text{п}}, \omega_{\text{н}}, d_1, d_2\} > 0,9$.



С наложением условия о различных возможностях состояния

нижнего склада вероятность P_{III} состояния ЛС во всех случаях больше, чем P_{II} . Максимальное значение составляет 0,25, а увеличение числа участков до двух понижает этот максимум до 0,15, т. е. на 10%. Причем максимум P_{III} перемещается в область малых значений $\omega_{л}, \omega_{п}, \omega_{н}$, меньше 0,5 (рис. 2.22).

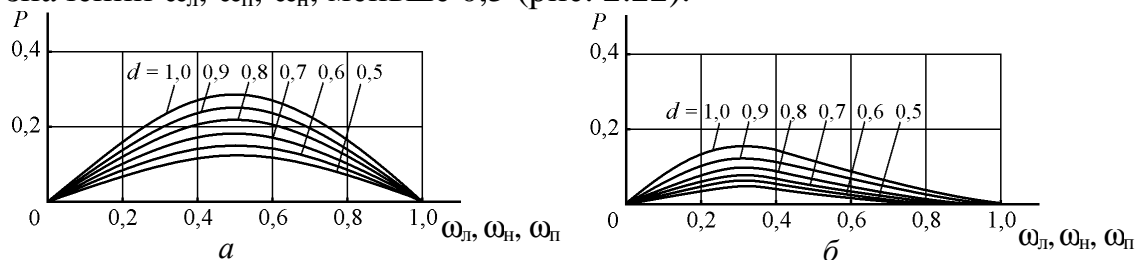


Рис. 2.22. Зависимости вероятности состояния ЛС, когда заготовка древесины временно не ведется, а остальные элементы ЛС функционируют нормально ($n_2 = 1; n_3 = 1$):
 $a - n_1 = 1; b - n_1 = 2$

Становится очевидным, что усложнение структуры ЛС, в данном случае повышение числа участков заготовки, снижает чувствительность ЛС по параметру P_{III} к большим значениям параметров работоспособности $\omega_{л}, \omega_{п}, \omega_{н}$.

Зависимости (рис. 2.23) позволяют прогнозировать работу ЛС в том случае, когда нижний склад не снабжается сырьем с учетом состояний всех производственных участков.

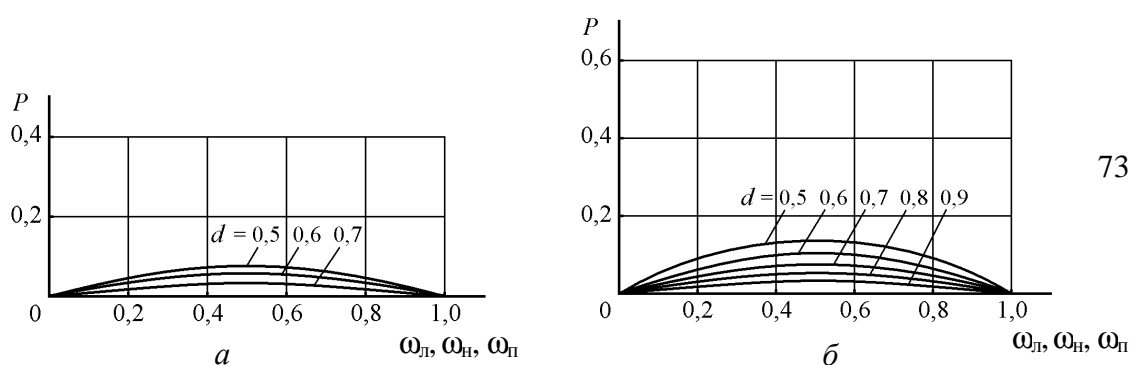


Рис. 2.23. Зависимости вероятности состояния ЛС, когда лесосечные работы могут находиться в различных состояниях: промплощадка и вывозка древесины

Отметим, что максимальное значение вероятности такого состояния P_{IV} достигается при $n_1 = 1$, а начиная с $n_1 = 3$ не превышает 0,04 для любых значений параметров $\omega_{л}, \omega_{п}, \omega_{н}, d_i$, т. е. рост числа участков добычи при временно неработающих промплощадке и вывозке леса снижает вероятность таких состояний ЛС.

Этот вывод подтверждается зависимостями, приведенными на рис. 2.24. При этом характер зависимостей P_{VI} остался аналогичным зависимостям по комплексному параметру P_{IV} .

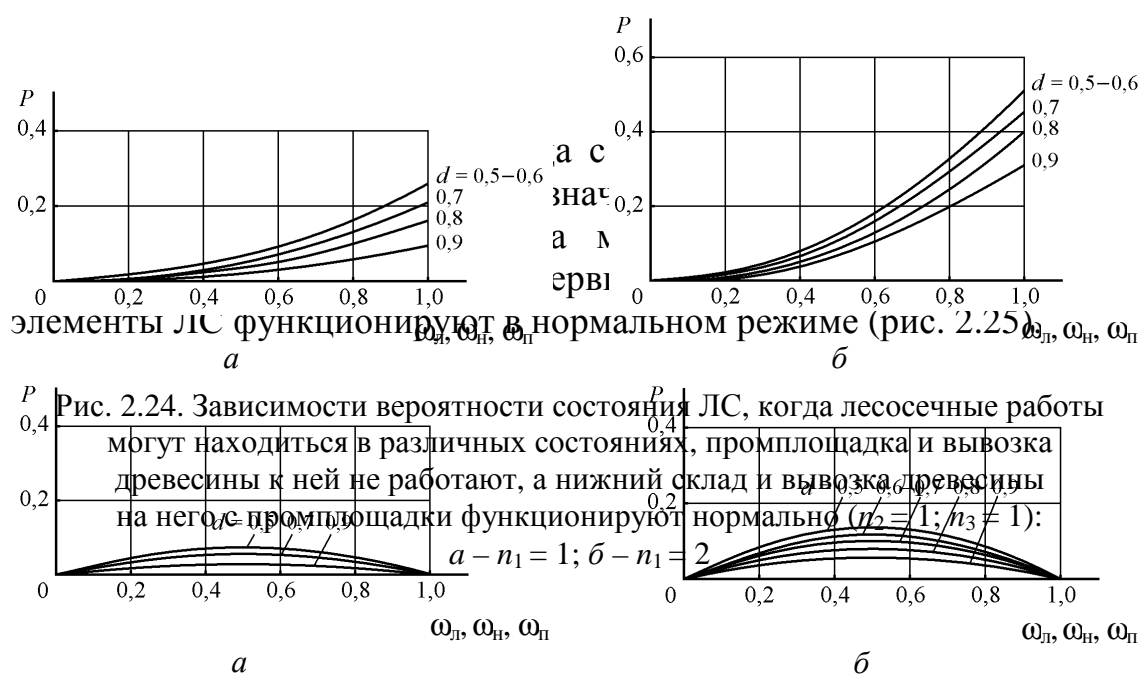


Рис. 2.25. Зависимости вероятности состояния ЛС, когда лесосечные работы могут находиться в различных состояниях, вывозки древесины нет, остальные элементы ЛС функционируют нормально, от параметров участков ($n_2 = 1; n_3 = 1$):
а – $n_1 = 1$; б – $n_1 = 2$

Максимальное значение P_V достигает в области параметров ω_L , ω_P , ω_H больше 0,8 и составляет 0,5. Увеличение числа участков заготовки n_1 благоприятно сказывается на работе ЛС с точки зрения рассматриваемых состояний. Вероятность таких состояний быстро уменьшается. Однако остается ощутимой до $n_1 = 6$.

Анализ зависимостей (рис. 2.26) дает основание заключить, что в областях значений параметров ω_L , ω_P , ω_H , d_i , в которых работают реальные ЛС (0,6 и выше), значение вероятности состояний ЛС, когда не работают одновременно все ее участки, не превышает 0,06 и снижается до 0,01 при увеличении до $n_1 = 2$. Можно сделать вывод, что в ЛС с n_1 , равным 2 и более, значение P_{VII} может быть исключено из рассмотрения при создании ЛС.

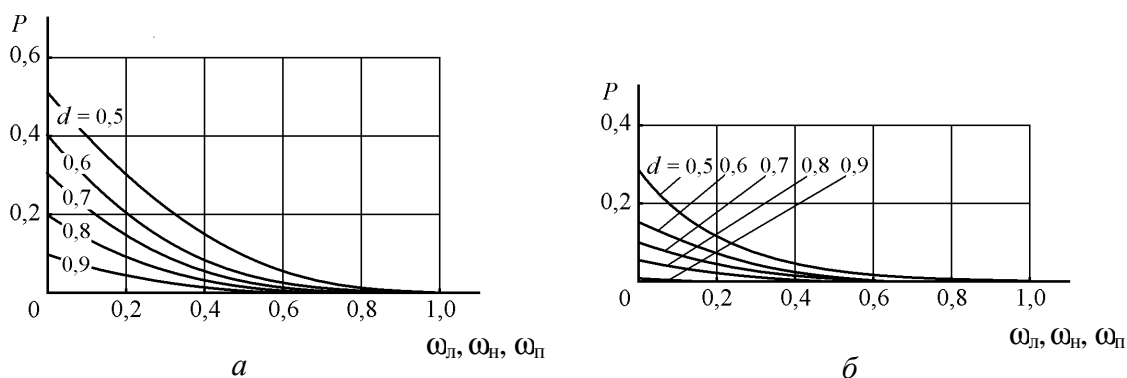


Рис. 2.26. Зависимости вероятности состояния ЛС, когда все участки не работают, от параметров элементов ЛС ($n_2 = 1$; $n_3 = 1$):
 $a - n_1 = 1$; $b - n_1 = 2$

Максимальные значения вероятностей состояний ЛС, когда не прекращается выпуск лесопроductии без принятия специальных мер поддержания жизнеспособности ЛС (создание запасов, увеличение числа автопоездов, работа в выходные дни и т. д.), приведены на рис. 2.27.

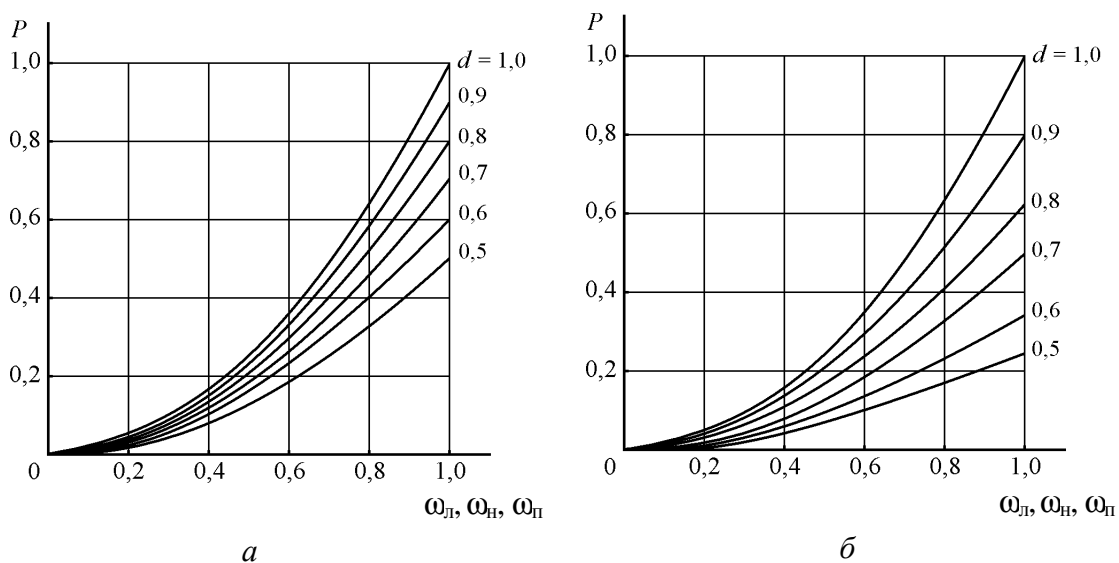


Рис. 2.27. Зависимости вероятности состояния ЛС, когда лесосечные работы могут находиться в различных состояниях, а остальные участки функционируют нормально, от параметров элементов ЛС ($n_2 = 1$; $n_3 = 1$):
 $a - n_1 = 1$; $б - n_1 = 2$

Повышение числа элементов в ЛС и снижение значений параметров $\omega_{л}$, $\omega_{п}$, $\omega_{н}$, d_i отрицательно сказываются на работоспособности ЛС с условием работы одновременно всех элементов за исключением лесосечных работ, которые могут пребывать в таких чередующихся состояниях, как работа и простой.

Здесь же отметим, что эффект увеличения комплексного параметра по оценке работоспособности всей ЛС P_{VIII} выше в областях больших значений параметров работоспособности производственных участков ($\{\omega_{л}, \omega_{п}, \omega_{н}, d_1, d_2\} > 0,8$).

2.6. Работоспособность лесопромышленных систем вида V

Системы рассматриваемого вида получаются путем создания в ЛС вида II промплощадок, либо посредством добавления резервных транспортных связей по вывозке древесины на этапе ее доставки к промплощадкам в ЛС вида IV.

Используя формулы (2.24–2.32) для ЛС вида II и уравнения (2.43–2.58) для ЛС вида IV, получим общие формулы для расчета ЛС вида V по принятым предельным значениям вероятностей состояний ЛС.

Вероятность одновременного функционирования всех производственных участков ЛС составит

$$P_I = \prod_{k \in M_{\text{ёд}}} \omega_{\text{ёк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{иё}}} \omega_{\text{и}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{юё}}} \omega_{\text{ю}k} \cdot \prod_{k \in M_{1\text{ёд}}} d_{1\text{ёк}} \cdot \prod_{k \in M_{2\text{ёд}}} d_{2\text{ёк}} \cdot \quad (2.59)$$

Вероятность состояния ЛС, когда заготовка древесины не ведется, а вывозка древесины, промплощадки и лесные склады функционируют с полной загрузкой, определится по формуле

$$P_{II} = \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{л}l}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{пр}}} \omega_{\text{пк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}} \cdot \prod_{k \in M_{1\text{тр}}} d_{1\text{тк}} \cdot \prod_{k \in M_{2\text{тр}}} d_{2\text{тк}} \cdot \quad (2.60)$$

Вероятность состояния ЛС, при котором заготовка временно не ведется, вывозка и промплощадки функционируют нормально, а нижние склады могут работать либо простаивать, равна

$$P_{III} = \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{л}l}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{пр}}} \omega_{\text{пк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}} \times \\ \times \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{н}l}) \cdot \prod_{k \in M_{1\text{тр}}} d_{1\text{тк}} \cdot \prod_{k \in M_{2\text{тр}}} d_{2\text{тк}} \cdot \quad (2.61)$$

Вероятность состояния ЛС, когда участки по заготовке могут пребывать в различных состояниях, не функционируют промплощадки и вывозка древесины, а лесные склады работают в нормальном режиме, составит

$$P_{IV} = \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{лк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{л}l}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{н}l}) \times \\ \times \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}} \cdot \prod_{l \in M_{1\text{тр}}} (1 - d_{1\text{т}l}) \cdot \prod_{l \in M_{2\text{тр}}} (1 - d_{2\text{т}l}) \cdot \quad (2.62)$$

Вероятность состояния ЛС, при котором участки по заготовке древесины могут находиться в любых состояниях (как рабочих, так и нерабочих), функционируют промплощадки, вывозка древесины с них и лесные склады, а не ведется первичная вывозка древесины, определится из выражения

$$P_V = \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{лк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{л}l}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{пр}}} \omega_{\text{пк}} \times \\ \times \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}} \cdot \prod_{l \in M_{1\text{тр}}} (1 - d_{1\text{т}l}) \cdot \prod_{k \in M_{2\text{тр}}} d_{2\text{тк}} \cdot \quad (2.63)$$

Вероятность состояния ЛС, когда участки по заготовке древесины могут пребывать в различных состояниях, не работают промплощадки, а вывозка древесины с промплощадок и лесные склады функционируют нормально, равна

$$P_{VI} = \prod_{k \in M_{лр}} \omega_{лк} \cdot \prod_{l \in M_{лн}} (1 - \omega_{лl}) \cdot \prod_{l \in M_{пн}} (1 - \omega_{пл}) \times \\ \times \prod_{k \in M_{нр}} \omega_{нк} \cdot \prod_{l \in M_{1тр}} (1 - d_{1лl}) \cdot \prod_{k \in M_{2тр}} d_{2тk}. \quad (2.64)$$

Вероятность состояния ЛС, когда одновременно не функционируют все производственные участки, составит

$$P_{VII} = \prod_{l \in M_{лн}} (1 - \omega_{лl}) \cdot \prod_{l \in M_{пн}} (1 - \omega_{пл}) \times \\ \times \prod_{l \in M_{нр}} (1 - \omega_{нл}) \cdot \prod_{l \in M_{1тр}} (1 - d_{1лl}) \cdot \prod_{l \in M_{2тн}} (1 - d_{2тл}). \quad (2.65)$$

Вероятность состояния ЛС, при котором участки заготовки древесины могут пребывать в различных состояниях, а все остальные элементы ЛС находятся в работоспособном состоянии, определится по формуле

$$P_{VIII} = \prod_{k \in M_{лр}} \omega_{лк} \cdot \prod_{l \in M_{лн}} (1 - \omega_{лl}) \cdot \prod_{k \in M_{нр}} \omega_{нк} \times \\ \times \prod_{k \in M_{1\delta}} \omega_{1\delta k} \cdot \prod_{k \in M_{1\delta\delta}} d_{1\delta k} \cdot \prod_{k \in M_{2\delta\delta}} d_{2\delta k}. \quad (2.66)$$

При равенстве параметров одноименных производственных участков система расчетных формул (2.59–2.66) будет иметь вид

$$P_I = \omega_{л}^{n_1} \omega_{н}^{n_2} \omega_{п}^{n_3} d_1^{m_1} d_2^{m_2} A, \quad (2.67)$$

$$P_{II} = (1 - \omega_{л})^{n_1} \omega_{н}^{n_2} \omega_{п}^{n_3} d_1^{m_1} d_2^{m_2} A, \quad (2.68)$$

$$P_{III} = (1 - \omega_{л})^{n_1} \omega_{п}^{n_3} d_1^{m_1} d_2^{m_2} A, \quad (2.69)$$

$$P_{IV} = \omega_{н}^{n_2} (1 - \omega_{п})^{n_3} (1 - d_1)^{m_1} (1 - d_2)^{m_2}, \quad (2.70)$$

$$P_V = \omega_{н}^{n_2} \omega_{п}^{n_3} (1 - d_1)^{\frac{3}{2}n_1} d_2^{m_2}, \quad (2.71)$$

$$P_{VI} = \omega_{н}^{n_2} (1 - \omega_{п})^{n_3} (1 - d_1)^{m_1} d_2^{m_2}, \quad (2.72)$$

$$P_{VII} = (1 - \omega_{л})^{n_1} (1 - \omega_{н})^{n_2} (1 - \omega_{п})^{n_3} (1 - d_1)^{m_1} (1 - d_2)^{m_2}, \quad (2.73)$$

$$P_{VIII} = \omega_{н}^{n_2} \omega_{п}^{n_3} d_1^{m_1} d_2^{m_2} A, \quad (2.74)$$

$$A = d_1^{\frac{n_1}{2}} + \alpha_1 d_1^{\frac{n_1}{2}-1} (1 - d_1) + \alpha_2 d_1^{\frac{n_1}{2}-2} (1 - d_1)^2 + \\ + \alpha_3 d_1^{\frac{n_1}{2}-3} (1 - d_1)^3 + K + \alpha_i (1 - d_1)^{\frac{n_1}{2}}. \quad (2.75)$$

Коэффициенты $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$ характеризуют соотношение числа

участков и транспортных лесовозных связей в ЛС и определяются при расчете конкретной ЛС. Для $n_1 \leq 8$ значения α_i можно рассчитывать как $\alpha_1 = C_{n_1}^1$; $\alpha_2 = C_{n_1}^1 - \frac{n_1}{2}$; $\alpha_3 = C_{n_1}^3 - 2n_1$; $\alpha_4 = C_{n_1}^4 - 12n_1$.

Расчет A при $n_1 \leq 8$, значений α_i для нечетного числа участков заготовки древесины ведется согласно схеме, изложенной в подразделе 2.3).

В случаях, когда число резервных связей меньше, чем основных минимально необходимых в ЛС, параметр A определяется из выражения

$$A = d_1^{\gamma n_1} + \alpha_1 d_1^{\gamma n_1 - 1} (1 - d_1) + \alpha_2 d_1^{\gamma n_1 - 2} (1 - d_1)^2 + \\ + \alpha_3 d_1^{\gamma n_1 - 3} (1 - d_1)^3 + K + \alpha_i (1 - d_1)^{\gamma n_1},$$

где γ – коэффициент доли резервных связей от общего числа имеющихся основных транспортных связей ($1 < \gamma < 2$).

Выявление тенденций и закономерностей поведения ЛС и ее элементов во время эксплуатации с помощью полученных зависимостей осуществляется по схеме, приведенной в подразделе 2.3.

2.7. Работоспособность лесопромышленных систем вида VI

Поведение ЛС с полным резервированием вывозки древесины на этапе до промплощадок близко по основным параметрам поведению ЛС вида V, имеющих дублирование отдельных транспортных связей. Подобные ЛС рассмотрены в подразделе 2.6.

Общие формулы (2.59–2.66) сохраняются при расчете состояний ЛС с различными структурами и индивидуальными значениями параметров работоспособности входящих участков $\omega_{ли}$, $\omega_{пj}$, $\omega_{нк}$, $d_{1тl}$, $d_{2тр}$.

Сохраняя смысловое значение рассчитываемых характеристик P_i ($i = I, II, \dots, VIII$) и используя формулы (2.59–2.66), получим систему зависимостей, определяющих поведение ЛС в период ее функционирования. Здесь принимаем то же условие равенства одноименных параметров:

$$\omega_{\text{ё}_1} = \omega_{\text{ё}_2} = K = \omega_{\text{ё}_{n_1}} = \omega_{\text{ё}}; \\ \omega_{i_1} = \omega_{i_2} = K = \omega_{i_{n_2}} = \omega_i; \\ d_{1\text{д}_1} = d_{1\text{д}_2} = K = d_{1\text{д}_{m_1}} = d_{1\text{д}}; d_{2\text{д}_1} = d_{2\text{д}_2} = K = d_{2\text{д}_{m_1}} = d_{2\text{д}}.$$

Система формул имеет вид

$$P_I = \omega_{л}^{n_1} \omega_{н}^{n_2} \omega_{п}^{n_3} d_{1т}^{m_1} d_{2т}^{m_2} A, \quad (2.76)$$

$$P_{II} = (1 - \omega_{\text{л}})^{n_1} \omega_{\text{H}}^{n_2} \omega_{\text{П}}^{n_3} d_{1\text{T}}^{m_1} d_{2\text{T}}^{m_2} A, \quad (2.77)$$

$$P_{III} = (1 - \omega_{\text{л}})^{n_1} \omega_{\text{П}}^{n_3} d_{1\text{T}}^{m_1} d_{2\text{T}}^{m_2} A, \quad (2.78)$$

$$P_{IV} = \omega_{\text{H}}^{n_2} (1 - \omega_{\text{П}})^{n_3} (1 - d_{1\text{T}})^{n_1} (1 - d_{2\text{T}})^{m_2}, \quad (2.79)$$

$$P_V = \omega_{\text{H}}^{n_2} \omega_{\text{П}}^{n_3} (1 - d_{1\text{T}})^{2n_1} d_{2\text{T}}^{m_2}, \quad (2.80)$$

$$P_{VI} = \omega_{\text{H}}^{n_2} (1 - \omega_{\text{П}})^{n_3} (1 - d_{1\text{T}})^{2n_1} d_{2\text{T}}^{m_2}, \quad (2.81)$$

$$P_{VII} = (1 - \omega_{\text{л}})^{n_1} (1 - \omega_{\text{H}})^{n_2} (1 - \omega_{\text{П}})^{n_3} (1 - d_{1\text{T}})^{2n_1} (1 - d_{2\text{T}})^{m_2}, \quad (2.82)$$

$$P_{VIII} = \omega_{\text{H}}^{n_2} \omega_{\text{П}}^{n_3} d_{1\text{T}}^{m_1} d_{2\text{T}}^{m_2} A, \quad (2.83)$$

$$A = d_{1\text{T}}^{n_1} + C_{m_1}^1 d_{1\text{T}}^{n_1-1} (1 - d_{1\text{T}}) + \\ + C_{m_1}^2 d_{1\text{T}}^{n_1-2} (1 - d_{1\text{T}})^2 + K + C_{m_1}^{\frac{m_1}{2}} (1 - d_{1\text{T}})^{n_1}. \quad (2.84)$$

Отметим, что структуры ЛС вида VI могут быть усовершенствованы в направлении создания резервных транспортных связей на стадии вывозки древесины с промплощадок на нижние склады или непосредственно потребителю. В этих случаях формулы (2.76–2.84), сохраняя свою смысловую нагрузку, будут иметь следующий вид:

$$P_I = \omega_{\text{л}}^{n_1} \omega_{\text{H}}^{n_2} \omega_{\text{П}}^{n_3} d_{1\text{T}}^{m_1} d_{2\text{T}}^{m_2} A_1 A_2, \quad (2.85)$$

$$P_{II} = (1 - \omega_{\text{л}})^{n_1} \omega_{\text{H}}^{n_2} \omega_{\text{П}}^{n_3} d_{1\text{T}}^{m_1} d_{2\text{T}}^{m_2} A_1 A_2, \quad (2.86)$$

$$P_{III} = (1 - \omega_{\text{л}})^{n_1} \omega_{\text{П}}^{n_3} d_{1\text{T}}^{m_1} d_{2\text{T}}^{m_2} A_1 A_2, \quad (2.87)$$

$$P_{IV} = \omega_{\text{H}}^{n_2} (1 - \omega_{\text{П}})^{n_3} (1 - d_{1\text{T}})^{2n_1} (1 - d_{2\text{T}})^{m_2}, \quad (2.88)$$

$$P_V = \omega_{\text{H}}^{n_2} \omega_{\text{П}}^{n_3} (1 - d_{1\text{T}})^{2n_1} d_{2\text{T}}^{m_2} A_2, \quad (2.89)$$

$$P_{VI} = \omega_{\text{H}}^{n_2} (1 - \omega_{\text{П}})^{n_3} (1 - d_{1\text{T}})^{2n_1} d_{2\text{T}}^{m_2} A_2, \quad (2.90)$$

$$P_{VII} = (1 - \omega_{\text{л}})^{n_1} (1 - \omega_{\text{H}})^{n_2} (1 - \omega_{\text{П}})^{n_3} (1 - d_{1\text{T}})^{2n_1} (1 - d_{2\text{T}})^{m_2}, \quad (2.91)$$

$$P_{VIII} = \omega_{\text{H}}^{n_2} \omega_{\text{П}}^{n_3} d_{1\text{T}}^{m_1} d_{2\text{T}}^{m_2} A_1 A_2, \quad (2.92)$$

$$A_1 = d_{1\text{T}}^{m_1} + C_{m_1}^1 d_{1\text{T}}^{m_1-1} (1 - d_{1\text{T}}) + \\ + C_{m_1}^2 d_{1\text{T}}^{m_1-2} (1 - d_{1\text{T}})^2 + K + C_{m_1}^{\frac{m_1}{2}} (1 - d_{1\text{T}})^{m_1}, \quad (2.93)$$

$$A_2 = d_{2T}^{m_2} + C_{m_2}^1 d_{2T}^{n_3-1} (1 - d_{2T}) + \\ + C_{m_2}^2 d_{2T}^{n_3-2} (1 - d_{2T})^2 + K + C_{m_2}^{\frac{m_2}{2}} (1 - d_{2T})^{n_3}. \quad (2.94)$$

Здесь $C_{m_1}^i$, $C_{m_2}^i$ – сочетания, где m_1 и m_2 – число транспортных связей в ЛС соответственно до и после промплощадок, включая и возможные резервные; i – число отказавших связей.

Системы уравнений, описывающие поведение ЛС через параметры P_i , позволяют, кроме возможностей, изложенных в подразделах 2.1–2.7, устанавливать следующее.

1. Производительность ЛС с учетом всего комплекса состояний, встречающихся при ее эксплуатации, вычисляется по формулам

$$\ddot{I}_{\hat{a}} = \ddot{I}_{\circ} \sum_1^j P_{\delta\hat{a}};$$

$$\ddot{I}_{\hat{a}} = \ddot{I}_{\circ} \sum_1^k P_{\delta\hat{a}},$$

где $\Pi_{\text{в}}$, $\Pi_{\text{т}}$, $\Pi_{\text{д}}$ – соответственно возможная, теоретическая и действительная производительности ЛС; $\sum_1^j P_{\delta\hat{a}}$, $\sum_1^k P_{\delta\hat{a}}$ – вероятности состояний ЛС, когда достигается соответственно производительности $\Pi_{\text{в}}$ и $\Pi_{\text{д}}$.

2. Производительность на отдельных участках и фазах находится из следующих выражений:

$$\Pi_{\text{вл}} = \Pi_{\text{тл}} \sum_1^{j_1} P_{\text{рв}};$$

$$\ddot{I}_{\hat{a}\circ} = \ddot{I}_{\circ\circ} \sum_1^{j_2} P_{\delta\hat{a}};$$

$$\ddot{I}_{\hat{a}\acute{a}} = \ddot{I}_{\circ\acute{a}} \sum_1^{j_3} P_{\delta\hat{a}};$$

$$\ddot{I}_{\hat{a}\grave{e}} = \ddot{I}_{\circ\grave{e}} \sum_1^{k_1} P_{\delta\hat{a}};$$

$$\ddot{I}_{\hat{a}\circ} = \ddot{I}_{\circ\circ} \sum_1^{k_2} P_{\delta\hat{a}};$$

$$\ddot{I}_{\hat{a}\acute{a}} = \ddot{I}_{\circ\acute{a}} \sum_1^{k_3} P_{\delta\hat{a}},$$

где $P_{вл}$, $P_{вт}$, $P_{вн}$ – возможные производительности, достигаемые соответственно на лесосечной, лесотранспортной и нижнескладской фазах; $P_{дл}$, $P_{дт}$, $P_{дн}$ – действительные производительности для тех же фаз.

3. Резервы производительности по ЛС, фазам и участкам с учетом целостности ЛС определяются по формуле

$$\Delta \ddot{I}_i = \ddot{I}_{\delta i} \sum_1^l P_{i\delta},$$

где $\Delta \ddot{I}_i$ – рост производительности в ЛС, либо на i -м производстве;

$\sum_1^l P_{i\delta}$ – вероятности состояний ЛС, в которых не достигается $\ddot{I}_{\delta i}$.

4. Стратегия реконструкции ЛС и участки приоритетной реконструкции рассчитываются по следующей формуле:

$$\Delta \ddot{I}_{jik} = \ddot{I}_{\delta jik} \sum_1^l P_{i\delta} \rightarrow \max,$$

где j, i, k – индексы, принадлежащие множествам производственных участков по фазам лесосечных работ, транспорта леса и лесоскладских работ.

5. Стратегия управления запасами с учетом рассмотрения состояний всех производственных участков ЛС приведена в [2].

Основные выводы по результатам исследований представляются следующими.

Математические модели ЛС в виде системы состояний с их численной и качественной оценками адекватны реальному ЛС и позволяют с единых позиций подходить к анализу и расчету структур ЛС.

Полученные результаты в виде формул, структурных и математических моделей отражают общие закономерности поведения ЛС как специфической производственной системы, которая имеет в своей структуре территориально разобщенные производственные участки, работает с возобновляемым сырьем и весьма чувствительна к влияниям внешней среды.

Сформулированные положения позволяют, используя системы формул и зависимостей, осуществлять расчет функционирования ЛС как целостной организации. Метод расчета работоспособности ЛС по состояниям дает возможность учесть состояния и влияния смежных, других производственных участков и транспортных связей. Использование в расчетных формулах вероятностей состояний

позволяет, отойдя от усредненных параметров, получить гибкие модели ЛС, которые лишены недостатков, присущих жестким моделям ЛС со строгой формализацией ее поведения в период эксплуатации.

Методика расчета ЛС базируется на теоретических основах структур ЛС, дает возможность рассчитывать рациональные структуры ЛС, определять фазы работ и производственные участки, приоритетные в отношении реконструкции, оценивать эффективность увеличения работоспособности отдельных участков по отношению ко всей ЛС.

Условию высокой работоспособности ЛС соответствуют ЛС с высокой степенью централизации: с одним лесным складом, одной промплощадкой и двумя участками заготовки в общем случае.

При накладывании ограничения на ритмичность снабжения древесиной лесных складов ЛС должны содержать не менее четырех участков заготовки на один лесной склад. При учете обоих условий работоспособности ЛС и обязательной ритмичности поставки древесины на лесной склад целесообразно конструировать структуру ЛС с четырьмя участками заготовки древесины на один лесной склад.

3. ОЦЕНКА И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ

3.1. Живучесть лесопромышленных систем и их структур

Под «живучестью ЛС» понимается ее способность выполнять свои функции производства лесоматериалов в условиях воздействия внешней среды и собственных, которые будут внутренними, отказов. В ЛС могут выходить из строя любые входящие в ее состав элементы. Представляя ЛС графом B , как ранее определено, можем констатировать, что в названном графе из строя будут выходить любые ребра и вершины.

Для количественного определения живучести ЛС введем понятие ценности ее графа. Пусть G – ценность ЛС, когда лесопромышленная система полностью работает. При этом подразумевается, что отказов производственных участков и транспортных связей между последними нет. Если же в состоянии S_i отказали какие-то элементы (участки, связи либо те и другие одновременно), то ценность ЛС снизится и станет равной G_i , т. е. в общем случае $G \geq G_i$.

Отказы элементов ЛС (участки и связи) можно разделить на два вида. К первому виду отнесем отказы оборудования, их комплексов и транспортных связей. Их природа и количественные характеристики в определенном объеме освещены в общей теории надежности и в прикладных исследованиях лесопромышленного оборудования. Ко второму виду принадлежат отказы и сбои в работе отделов и групп, где принимаются решения по управлению производственными процессами. Количественная оценка отказов в этом виде практически отсутствует.

Отказы в работе лесопромышленных предприятий носят вероятностный характер и рассмотрены в ряде работ [6–11].

Самый простой случай это тот, когда перед отделом стоит задача, а он ее выполнить не в состоянии. В практике работы ЛС чаще встречаются ситуации, когда отдел либо частично решает задачу, либо осуществляет некачественно, либо неверно поняв возникшую проблему, решает ложную задачу. Указанные разновидности не завершают картину отказов отделов и групп, она оказывается еще более пестрой, а проблема в целом требует широкого и подробного рассмотрения.

Очертим воздействие внешней среды на ЛС. Различают два основных вида воздействия внешней среды на ЛС и ее живучесть.

У первого воздействия нет информации о самой ЛС, ее составе, структуре, функциях, целях, сильных и слабых сторонах. К этому виду воздействия отнесем все климатические и природные факторы, обозначенные в предыдущих разделах.

Воздействие второго вида характеризуется тем, что у него есть полная информация о ЛС и она может использоваться внешней средой для оказания наиболее эффективного воздействия на ЛС. В этом случае вероятность вывода из строя ЛС либо ее элементов весьма близка к единице. Однако в силу особенностей нашей экономики такие воздействия исключаем из рассмотрения.

Воздействия разного рода нарушают связи между участками ЛС, или связность ЛС. Поэтому одной из важнейших характеристик структуры ЛС является соотношение связей и производственных участков, влияние числа первых на работоспособность ЛС.

Структуру ЛС можно оценить различными параметрами, количество которых зависит от требуемой полноты ее описания. Одной из характеристик будет число связей между элементами ЛС, выраженное количеством ребер в графе B :

$$\tilde{n} = N_c(N - N_c), N_c \in N, \quad (3.1)$$

где N_c – число лесных складов; N – общее число производственных участков в графе B (общее число участков и складов в ЛС).

Другой характеристикой структуры ЛС будет степень производственного участка, входящего в степень ЛС. Этот параметр определяется числом связей, адекватных исследуемому производственному участку (вершине графа B).

Обозначим степень производственного участка (участки заготовки, промплощадки, лесные склады) через $\delta(h_i)$. Установление значений $\delta(h_i)$ приведено на рис. 3.1.

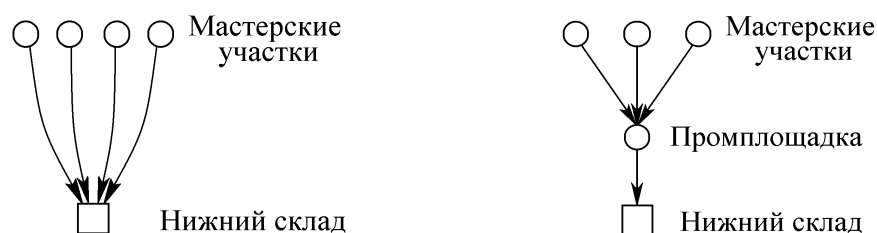


Рис. 3.1. Структуры ЛС

Допустим, что если на каждый производственный участок ЛС приходится лишь одна связь, то живучесть такой ЛС примем за нуль. Тогда степень живучести ЛС количественно определится как

$$\gamma = \frac{M - N}{N(N - 1)}, \gamma \geq 0, \quad (3.2)$$

где M – число связей в ЛС (ребер в графе B); N – число производственных участков (вершин в графе B).

ЛС будет тем совершеннее в отношении устойчивости функционирования, чем больше значение γ .

3.2. Характеристики живучести лесопромышленных систем

Степень живучести ЛС зависит от вида ЛС и используемой в ней структуры с характеристиками входящих элементов.

Определим численные значения параметра γ для ЛС, представленных в табл. 2.1, используя формулу (3.2). В качестве изменяемых характеристик примем число участков заготовки (n_1), промплощадок (n_3), нижних складов (n_2), транспортных связей между названными участками ЛС (m). Рассматривая ЛС вида I, отметим, что при одинаковом числе участков N ($N = n_1 + n_2$) наибольшей живучестью по используемому критерию γ обладает система с одним нижним складом (рис. 3.2). Для этого вида ЛС наилучшей является ЛС с $N = 3-5$. Другими словами, на один нижний склад ведут заготовку 2-4 участка, поскольку из N исключен один нижний склад. Максимальное значение γ достигается при $N = 4$ и числе участков заготовки, равном 3. ЛС с одним нижним складом имеют преимущество перед остальными ЛС вида I в диапазоне $N = 3-12$.

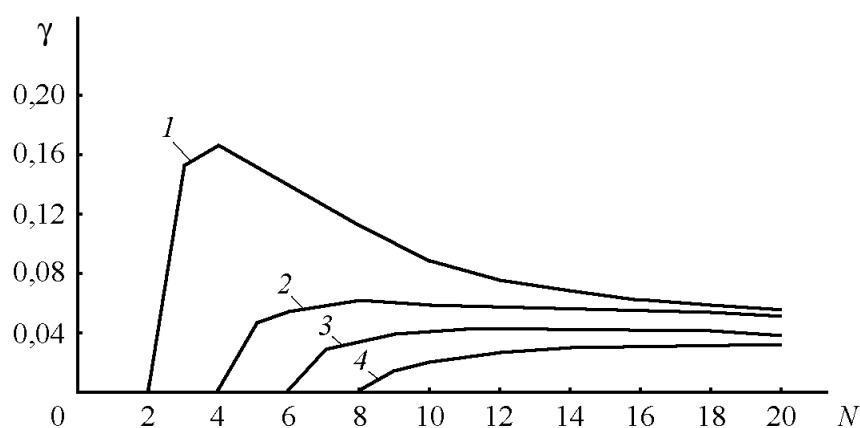


Рис. 3.2. Зависимости степени живучести ЛС вида I от количества производственных участков N :
 $1 - n_2 = 1$; $2 - n_2 = 2$; $3 - n_2 = 3$; $4 - n_2 = 4$

В случае формирования ЛС с двумя нижними складами наилучшие значения степени живучести γ дает диапазон $N = 6-10$ с максимальным значением γ при $N = 7$ (зависимость 1, рис. 3.3), т. е. на два нижних склада работают 5–6 участков заготовки древесины.

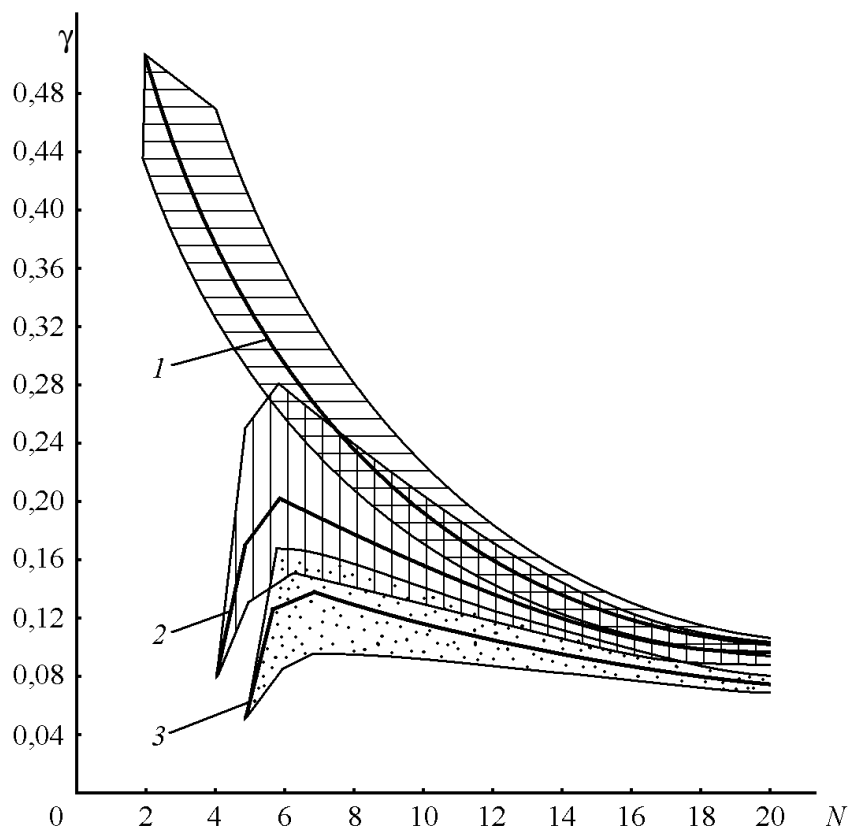


Рис. 3.3. Зависимости степени живучести ЛС вида II от числа производственных участков N :
1 — $n_2 = 1$; 2 — $n_2 = 2$; 3 — $n_2 = 3$

При формировании ЛС с числом нижних складов, равным 3, рациональное количество участков заготовки составляет 9–15 (зависимость 3, рис. 3.4). Причем предпочтительным является 10–11 участков заготовки в рассматриваемой ЛС. Лесозаготовительная система с числом нижних складов, равным 4, обладает максимальной степенью живучести при наличии в своем составе 14–17 участков заготовки (кривая 4, рис. 3.4).

Отметим, что с ростом числа производственных участков N , особенно числа нижних складов N_c , количество возможных ЛС с высокой живучестью увеличивается, кривые $\gamma = f(N)$ становятся пологими (зависимости 3, 4, рис. 3.2). Минимальная же степень

живучести γ соответствует ЛС, в которых нижний склад обслуживается одним участком заготовки.

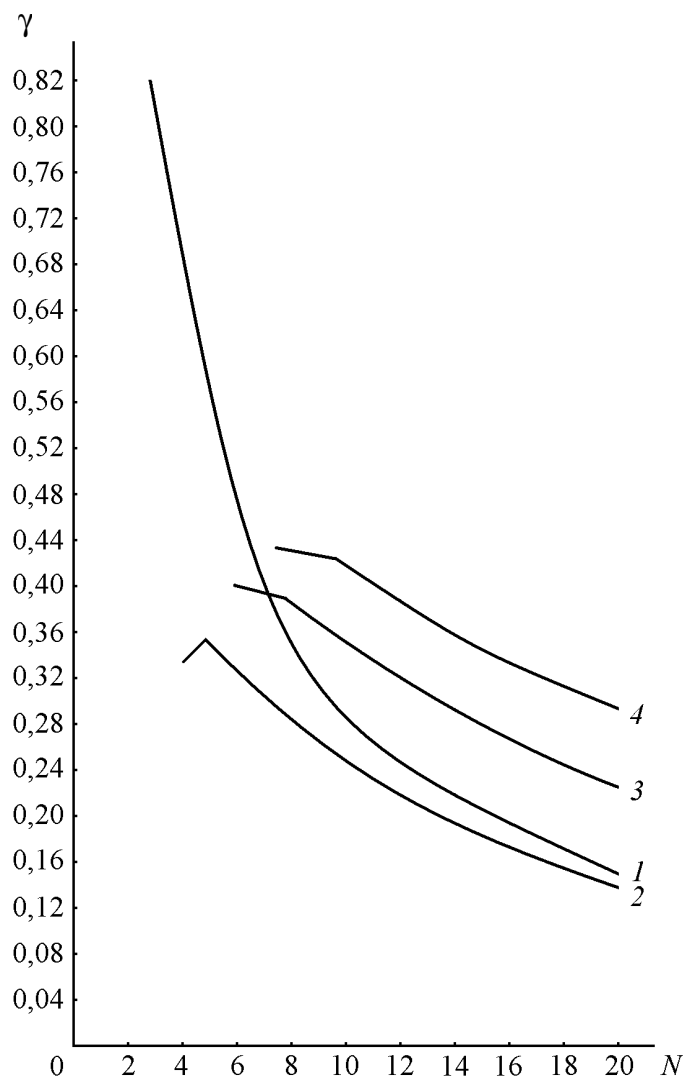


Рис. 3.4. Зависимости степени живучести ЛС вида III от количества производственных участков N :
 $1 - n_2 = 1$; $2 - n_2 = 2$; $3 - n_2 = 3$; $4 - n_2 = 4$

Соотношение значений γ для различных ЛС сохраняется в ЛС вида II. Учитывая различную долю возможного дублирования по транспорту леса (до 50%), здесь следует рассматривать поля значений γ (рис. 3.3). ЛС вида II с одним нижним складом имеет значения γ выше, чем у остальных ЛС в диапазоне $N = 2-9$ с учетом и средних данных, и абсолютно высшие при $N = 2-6$. Наилучшие соотношения количества складов и участков заготовки приведены в табл. 3.1.

ЛС вида III характеризуются тем, что в них имеется возможность полной взаимопомощи участков заготовки при поставке древесины на

нижние склады. Т.е. один и тот же участок может поставлять древесину на различные склады в ЛС. Для этих же ЛС лучшей структурой будет структура с одним нижним складом (рис. 3.4.). Это преимущество будет сохранено при $N = 3-6$. В иных случаях имеются ЛС с более высокими значениями параметра γ . Максимальные значения γ принимает при следующих условиях:

- 1 нижний склад – $n_1 = 2$;
- 2 нижних склада – $n_1 = 3$;
- 3 нижних склада – $n_1 = 3-4$;
- 4 нижних склада – $n_1 = 4-5$.

Таблица 3.1

**Предпочтительные соотношения количества нижних складов
и участков заготовки в ЛС вида II**

Количество нижних складов	Диапазон числа участков заготовки, n_1	Предпочтительное количество участков заготовки
1	1–6	2
2	3–6	4
3	3–8	4

Условие возможного дублирования вывозки древесины с различных участков заготовки снижает число участков заготовки, приходящееся на один нижний склад (рис. 3.4) по отношению к ЛС вида I (рис. 3.2).

ЛС вида IV, в которых имеются промплощадки, содержат области значений γ , близкие ЛС вида I (рис. 3.5). Так, в диапазоне $N = 3-13$ в ЛС с одним нижним складом и различным количеством участков заготовки и промплощадок (с сохранением условия $N = n_1 + n_2 + n_3$) значение γ выше, чем у остальных ЛС вида IV. Наилучшие структуры по критерию γ приведены в табл. 3.2.

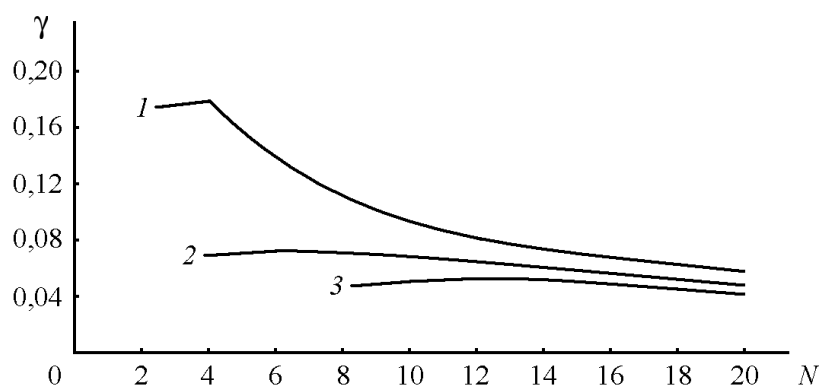


Рис. 3.5. Зависимости степени живучести ЛС вида IV

от количества участков N для различного числа участков заготовки n_1 ,
 промплощадок n_3 и одного нижнего склада n_2 :

$$I - n_3 = 1; 2 - n_3 = 2; 3 - n_3 = 3$$

Таблица 3.2

**Предпочтительные соотношения количества промплощадок
и участков заготовки в ЛС вида IV**

Количество промплощадок, n_3	Диапазон числа участков заготовки, n_1	Предпочтительное количество участков заготовки
1	1–2	2
2	2–6	4
3	4–7	6

С увеличением количества нижних складов N_c до 2 и более практически исчезает различие в величине γ для ЛС при изменении числа участков заготовки. Так, при $n_2 = 2$ для $N = 6$ – значение параметра $\gamma = 0,065$, а для $N = 12$ – $\gamma = 0,06$.

Условие дублирования транспорта леса (до 50%), естественно, повышает параметр γ и живучесть ЛС вида V равно ЛС вида II. При этом получаются лучшие по рассматриваемому критерию γ решения в отношении структур ЛС. Так, основываясь на зависимостях рис. 3.6, лучшими соотношениями в ЛС будут для одного нижнего склада:

- 1 промплощадка – $n_1 = 2$ участка;
- 2 промплощадки – $n_1 = 2$ участка;
- 3 промплощадки – $n_1 = 4$ участка.

γ

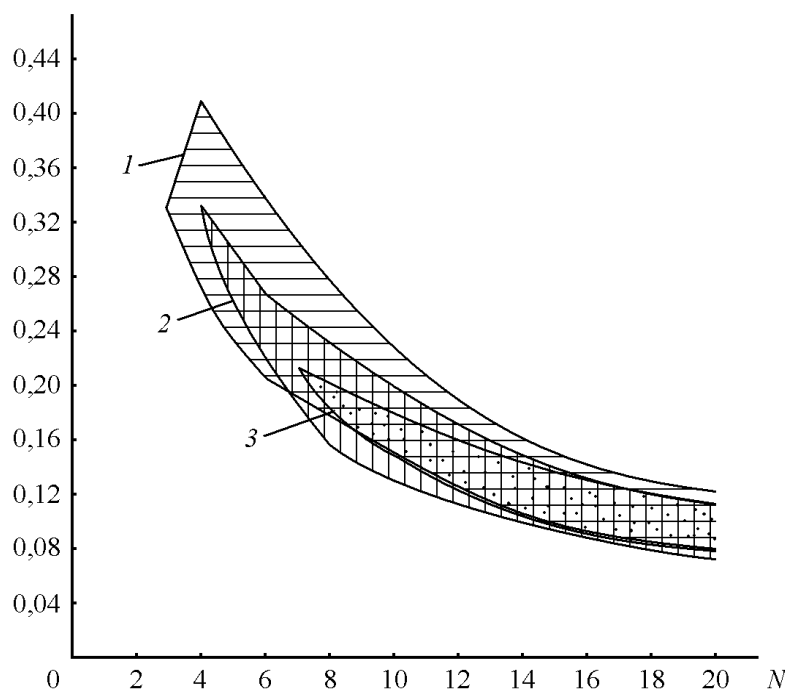


Рис. 3.6. Зависимости степени живучести ЛС вида V от количества участков N для различного числа участков заготовки ($n_2 = 1$):
 $1 - n_3 = 1$; $2 - n_3 = 2$; $3 - n_3 = 3$

С увеличением числа N по количеству промплощадок (n_3) поле изменения степени живучести γ сокращает поле γ (кривая 1, рис. 3.6) по отношению к полю γ (зависимость 3, рис. 3.6).

В области $N \geq 9$ поля γ накладываются и существенных преимуществ между ЛС практически не наблюдается.

В области $N = 3-6$ рассматриваемого вида ЛС с одной промплощадкой и нижним складом такая ЛС имеет наивысшую степень живучести по γ .

В случаях возможного полного дублирования транспорта леса предпочтительные структуры ЛС с одним нижним складом и промплощадками приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Предпочтительные соотношения количества промплощадок и участков заготовки в ЛС вида VI (один нижний склад)

Количество промплощадок, n_3	Диапазон числа участков заготовки, n_1	Предпочтительное количество участков заготовки, n_1
1	3–4	3
2	4–6	4
3	5–7	5

При этом степень живучести γ растет с увеличением числа промплощадок (рис. 3.7).

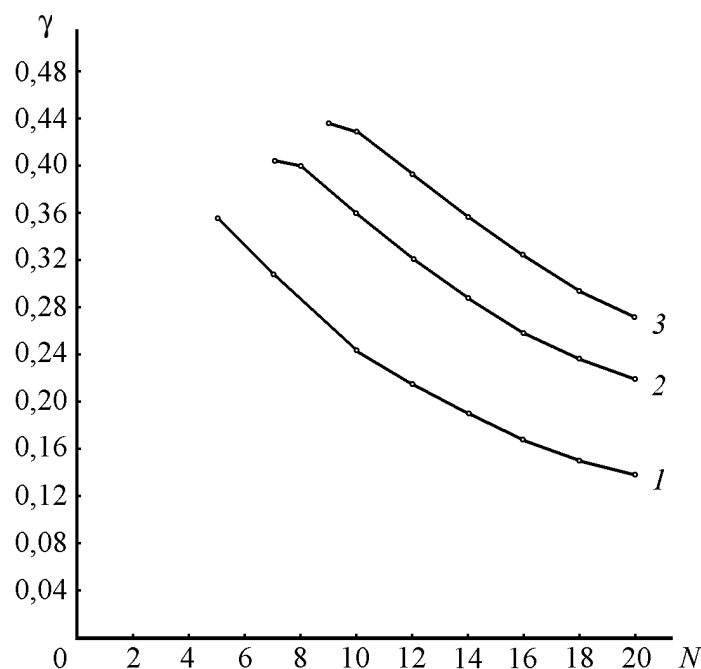


Рис. 3.7. Зависимости степени живучести ЛС вида VI от количества участков N для различного числа участков заготовки и одного нижнего склада:

$$1 - n_3 = 1; 2 - n_3 = 2; 3 - n_3 = 3$$

Выбор рациональной структуры ЛС следует проводить не только по показателям работоспособности P_i , но и по степени живучести ЛС γ .

Для ЛС вида I предпочтительной является структура с одним нижним складом и 3–4 участками заготовки древесины. Данная структура обладает наибольшей степенью живучести перед остальными структурами ЛС с несколькими нижними складами при числе участков заготовки до 11.

ЛС вида II целесообразно создавать с одним нижним складом и двумя участками заготовки.

ЛС вида III с полным дублированием по транспорту леса будет иметь наивысшую степень живучести при одном нижнем складе с двумя участками заготовки.

Наилучшими структурами для ЛС вида IV являются структуры с одним нижним складом, 1–2 промплощадками и 1–3 участками заготовки.

ЛС вида V наиболее целесообразна с одним нижним складом. Для 1, 2 и 3 промплощадок рациональное число участков заготовки соответственно составит 2, 3, 4 участка.

Для ЛС вида VI предпочтительной является структура с одним нижним складом и одной промплощадкой на три участка заготовки.

4. ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УЧАСТКОВ, ВХОДЯЩИХ В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ

4.1. Выбор лесопромышленных систем и условия их функционирования

В соответствии с разработанной схемой расчета структур ЛС возникает необходимость в определении характеристик производственных участков, входящих в ЛС.

Отмеченное многообразие ЛС, технологических решений на каждой из фаз производства, применяемого оборудования и природных условий представляет особые требования к достоверности полученных параметров. Поэтому выбор ЛС, принятых к рассмотрению, был произведен таким образом, чтобы охватить наиболее крупные лесозексплуатационные районы, современные лесопромышленные предприятия с технологическими процессами.

Количество предприятий и выполняемые ими годовые производственные программы иллюстрируются данными, приведенными в табл. 4.1. Определение параметров работоспособности производственных участков осуществлено исследованием ЛС в тринадцати лесопромышленных объединениях РФ и РБ с лесозексплуатационными условиями, согласно табл. 4.2, 4.3.

Таблица 4.1

Мощность предприятий, принятых к исследованию

Лесопромышленные объединения РФ и РБ	Число предприятий	Мощность, тыс. м ³
Архангельская область	13	6 859
Карелия	15	5 651
Республика Коми	10	6 354
Вологодская область	14	7 234
Кировская область	6	4 025
Томская область	8	2 856
Пермская область	12	7 166
Свердловская область	8	2 955
Тюменская область	6	3 120
Красноярский край	3	1 015
Иркутская область	21	6 220
Хабаровский край	7	3 010
Лесной комплекс РБ	14	4 013
Итого	137	60 478

Показатели лесозэксплуатационных условий и распределение древостоев в процентах к площади

№ п/п	Лесопромышленные объединения РФ и РБ	Средний объем хлыста		Запас на 1 га		Категория почвенно- грунтовых условий		Крутизна склонов	
		м ³	%	м ³	%	категория	%	град.	%
1	Архангельская область, Вологодская область, Карелия	0,10–0,30	62,3	50–100	35,5	I	23	0–10	92
		0,31–0,70	37,0	101–200	51,2	II	32	11–20	8
		0,21 и выше	0,7	201 и более	13,3	III	45	–	–
2	Кировская область, Костромская область, лесной комплекс РБ	0,10–0,30	21,9	50–100	10,8	I	15	0–10	100
		0,31–0,70	71,1	101–200	45,1	II	62		
		0,21 и выше	7,0	201 и более	44,1	III	23		
3	Пермская область, Свердловская область	0,10–0,30	11,0	50–100	8,4	I	42	0–10	96
		0,31–0,70	63,5	101–200	47,3	II	33	11–20	4
		0,71 и выше	25,5	201 и более	44,3	III	25	Более 20	1
4	Тюменская область, Томская область	0,10–0,30	39,4	50–100	20,6	I	26	0–10	100
		0,31–0,70	55,0	101–200	54,1	II	44		
		0,71 и выше	5,0	201 и более	25,3	III	30		
5	Красноярский край, Иркутская область	0,10–0,30	33,4	50–100	18,0	I	67	0–10	80
		0,31–0,70	42,7	101–200	47,2	II	26	11–20	16
		0,71 и выше	23,5	201 и более	34,8	III	7	Более 20	4
6	Хабаровский край	0,10–0,30	29,2	50–100	30,4	I	55	0–10	66
		0,31–0,70	50,3	101–200	42,4	II	33	11–20	22
		0,71 и выше	20,5	201 и более	27,2	III	12	Более 20	12

Таблица 4.3

Диапазоны характеристик условий функционирования ЛС

Лесопромышленные объединения РФ и РБ	Насаждения, %		Средний объем хлыста, м ³	Запас на 1 га, м ³	Заболоченность лесного фонда, %
	хвойные	лиственные			
Архангельская область	60–90	10–40	0,19–0,29	110–210	0–68
Карелия	60–100	0–40	0,18–0,39	100–170	0–70
Республика Коми	50–90	10–50	0,17–0,29	85–208	1–70
Вологодская область	40–100	0–60	0,21–0,43	130–240	8–65
Кировская область	30–80	20–70	0,20–1,41	104–285	7–61
Томская область	10–80	20–90	0,36–0,75	133–170	38–67
Пермская область	60–100	0–40	0,18–0,47	140–247	4–70
Свердловская область	20–90	10–80	0,28–0,49	180–290	0–50
Тюменская область	40–90	10–60	0,32–0,49	120–197	20–70
Красноярский край	70–100	0–30	0,37–0,96	100–230	0–60
Иркутская область	60–100	0–40	0,40–1,10	183–300	0–15
Хабаровский край	60–100	0–40	0,30–0,75	52–180	0–70
Лесной комплекс РБ	20–60	40–80	0,18–0,36	86–350	10–74

4.2. Количественное определение показателей работоспособности

Производственные участки, являясь элементами ЛС, представляют собой сложные системы, поскольку имеют в своем составе, как правило, несколько машин, характеризуются собственной организацией производственного процесса и имеют свои цели. Поэтому количественная оценка работоспособности производственных участков определяется некоторой сложностью, которая усугубляется и тем, что участок может выполнять свои функции с различными характеристиками качества функционирования. Если, например, качество функционирования производственных участков оценивать производительностью, то последняя будет меняться в разные периоды времени и при различных природно-производственных условиях.

Пусть каждому состоянию бригады (производственного участка) $S(t)$ соотносится производительность $\Pi(t)$. Тогда математическая модель функционирования бригады будет иметь следующий вид:

$$\dot{I}(t) = \begin{cases} \dot{I}_0 & \text{if } S(t) \in M_0; \\ \dot{I}_1 & \text{if } S(t) \in M_1; \\ \dot{I}_2 & \text{if } S(t) \in M_2; \\ \dots & \dots \\ \dot{I}_m & \text{if } S(t) \in M_m, \end{cases}$$

где M_0, M_1, \dots, M_m – множества состояний, в которых бригады либо мастерские участки достигают производительностей соответственно $\Pi_0, \Pi_1, \dots, \Pi_m$.

Качество функционирования производственного участка всем множествам значений Π_i определится функцией

$$\Pi(t) = K \{ \Pi_p, \omega(t) \},$$

где Π_p – расчетная производительность бригады; $\omega(t)$ – вероятность нахождения бригады в состояниях, в которых достигается производительность не ниже Π_p .

Параметр $\omega(t)$ представляется набором показателей, т. е. $\{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$, и устанавливается для производственных участков заготовки, транспортировки и первичной переработки древесины из следующей формулы:

$$\omega = \frac{\dot{O}_\delta + \dot{O}_i}{\dot{O}_\delta}, \quad (4.1)$$

где T_p – время работы бригады (производственного участка); T_π – время простоя бригады по организационным причинам; T_ϕ – фонд рабочего времени бригады.

Значения ω являются статистическими величинами с соответствующими правилами их получения и обработки. Обработка данных проводилась по разработанным нами алгоритмам и программе на компьютере.

Схема обработки следующая:

1. Оценка резко отличающихся значений по критерию Ирвина

$$\lambda'_y = \frac{|\omega_{n-1} - \omega_n|}{\sigma_\omega} \text{ и теоретическому } \lambda'_\delta.$$

2. Определение $\bar{\omega}$.

3. Расчет среднего квадратичного отклонения σ_ω .

4. Установление коэффициента вариации C_v .

5. Определение коэффициента асимметрии C_a .

6. Оценка параметров $\bar{\omega}$ и σ_ω по коэффициентам ошибок ψ_ω и ψ_σ .

7. Проверка гипотезы о законе распределения по коэффициентам асимметрии

$$\tilde{N}_a = \frac{1}{n \sigma_\omega^3} \sum_{i=1}^k (\omega_i - \bar{\omega})^3 n_i,$$

крутости

$$C_{\hat{e}} = \frac{1}{n(\sigma^4 - 3)} \sum_{i=1}^k (\omega_i - \bar{\omega})^4 n_i,$$

критерию Пирсона

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - \tilde{m})^2}{\tilde{m}}.$$

χ^2 определяется по [13] для степеней свободы $v = n_1 - 3$ и уровня значимости 0,95.

8. Установление критерия Стьюдента t .

9. Определение доверительных интервалов для $\bar{\omega}$:

$$\Delta = \pm t_{0,05} \frac{\sigma_\omega}{\sqrt{n}}.$$

Период исследования ЛС составляет 5–6 лет.

4.3. Работоспособность участков, эксплуатирующих трелевочные тракторы ТДТ-55

Результаты базируются на исследовании ЛС и лесосечных бригад объединений, в которых в основном эксплуатируются трелевочные тракторы ТДТ-55.

Основными признаками, по которым осуществлялось выделение бригад в идентичные группы, выступили состав бригад и базовая трелевочная машина.

В табл. 4.4 представлены данные по работоспособности лесосечных бригад и их оценки.

Таблица 4.4

Характеристики работоспособности комплексных бригад, эксплуатирующих тракторы ТДТ-55

Лесопромышленные объединения РФ и РБ	$\bar{\omega}_л$	Доверительные интервалы $\pm\Delta$		$\sigma_{\omega_l} \cdot 10^{-2}$	$C_v \cdot 10^{-2}$	$\psi_{\omega_l}, \%$	$\psi_{\sigma}, \%$	Оценка $\bar{\omega}_л$		Оценка σ_{ω_l}		C_a
		$p = 0,90$	$p = 0,95$					t_3	t_T	F_3	F_T	
Архангельская область	0,76	0,016	0,019	3,77	4,96	0,92	0,65	2,03	2,11	1,31	2,34	0,72
Карелия	0,82	0,016	0,020	4,13	5,04	0,95	0,67	2,23	2,54	1,22	2,11	-1,22
Республика Коми	0,74	0,017	0,021	3,10	4,19	0,93	0,66	2,12	2,20	1,35	2,79	-1,32
Вологодская область	0,72	0,020	0,024	4,41	6,12	1,14	0,81	1,83	2,13	1,39	2,38	0,42
Лесной комплекс РБ	0,79	0,011	0,013	4,64	5,87	0,64	0,45	1,93	2,00	1,26	1,70	0,20

Максимальные параметры работоспособности присущи бригадам Карелии при среднем значении $\bar{\omega}_э = 0,82$, минимальные – бригадам Вологодской области при $\bar{\omega}_э = 0,72$.

Средние квадратичные отклонения σ_{ω_l} незначительно отличаются для различных бригад. Так, разница между максимальными и минимальными значениями σ_{ω_l} составляет $0,87 \cdot 10^{-2}$. Поэтому в практических расчетах диапазон изменений ω_l можно принимать одинаковым для различных ЛС и равным $4 \cdot 10^{-2}$.

Такое же значение относится к коэффициенту вариации C_v , который рекомендуется принимать равным $5,2 \cdot 10^{-2}$.

Значения ошибок средних $\psi_{\bar{\omega}_\varepsilon}$ и средних квадратичных ψ_σ не превышают соответственно 1,14 и 0,91%, что дает основание сделать вывод о приемлемой достоверности параметров $\omega_\text{л}$.

Функционирование бригад в течение длительного периода времени требует выяснения характера и существования зависимости $\omega_\text{л}$ от временной компоненты t . В случае наличия таковой исключается возможность получения распределений $\omega_\text{л}$. Исследования, проведенные за 5–6 лет, позволили получить графики изменения $\omega_\text{л}$ в зависимости от времени (рис. 4.1).

Значимость расхождений между $\bar{\omega}_\varepsilon$ и $\sigma_{\bar{\omega}_\varepsilon}$ при различных t оценивалась критерием t и соотношением F (табл. 4.4).

Критерий Стьюдента определялся как

$$t_9 = \frac{\bar{\omega}_{\text{л}1} - \bar{\omega}_{\text{л}2}}{\sigma_{\bar{\omega}_\text{л}}} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}},$$

где $\bar{\omega}_{\varepsilon_1}$, $\bar{\omega}_{\varepsilon_2}$ – средние значения параметров выборок; n_1 , n_2 – объемы выборок.

Тогда

$$\sigma_{\bar{\omega}_\text{л}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} (\omega_{\text{л}i} - \bar{\omega}_{\text{л}1})^2 + \sum_{j=1}^{n_2} (\omega_{\text{л}j} - \bar{\omega}_{\text{л}2})^2}{n_1 + n_2 - 2}}.$$

Табличное значение критерия Стьюдента $t_\text{т}$ устанавливалось при числе степеней свободы $\nu = n_1 + n_2 - 2$ и 5%-ном уровне значимости [1].

Расчетное значение F_9 -критерия определялось как $F_y = \frac{\sigma_{\omega_{\varepsilon_1}}^2}{\sigma_{\omega_{\varepsilon_2}}^2}$ и

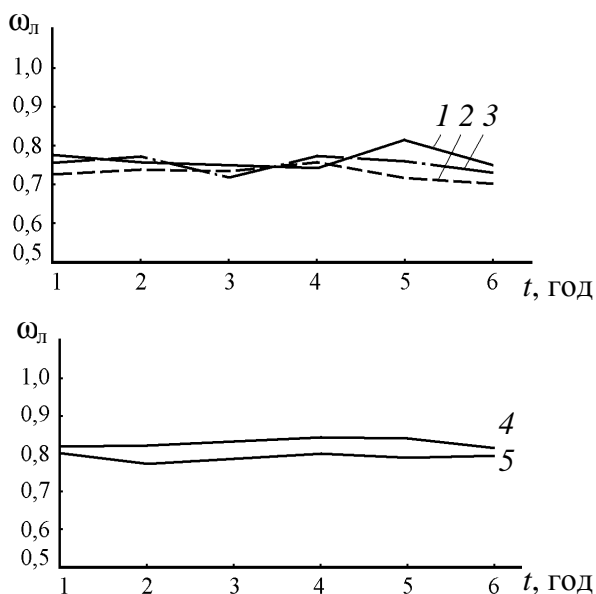


Рис. 4.1. Изменения $\omega_\text{л}$ в зависимости от времени для бригад, эксплуатирующих тракторы ТДТ-55:
1 – Архангельская область;
2 – Вологодская область;
3 – Республика Коми;
4 – Карелия; 5 – лесной комплекс РБ

сравнивалось с табличным.

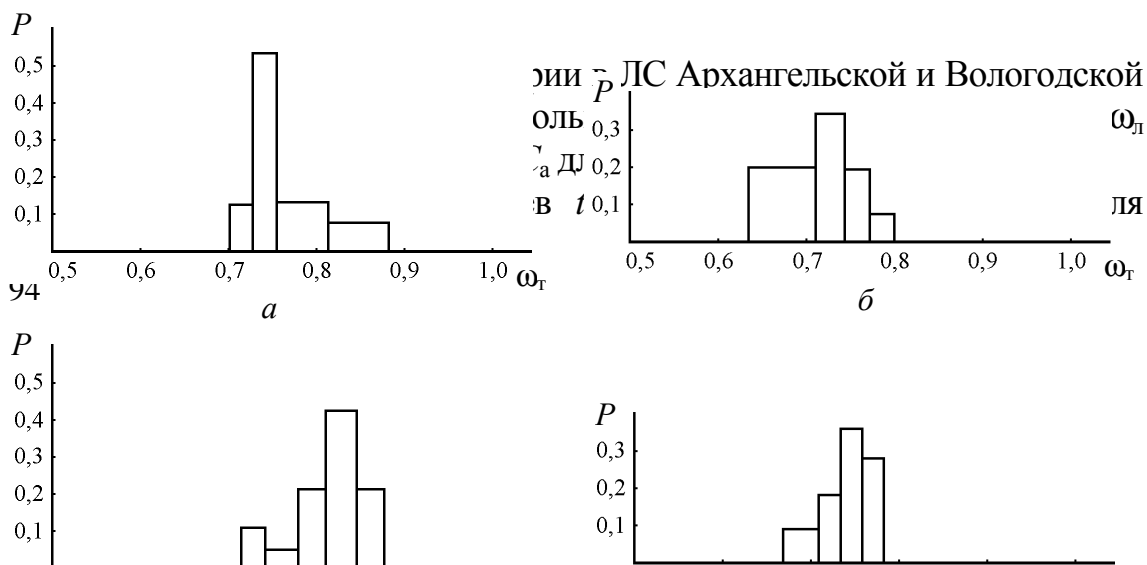
Число степеней свободы здесь подсчитывалось для

$$\nu_1 = n_1 - 1,$$

$$\nu_l = n_l - 1.$$

Во всех случаях имело место $t_{\delta} > t_{\gamma}$ и $F_{\delta} > F_{\gamma}$, что указывает на несущественность различий между распределениями, полученными в различные моменты времени t , и отсутствие функциональной зависимости $\omega_{\text{л}} = \omega(t)$.

Распределения $\omega_{\text{л}}$ приведены на рис. 4.2. Рассматривая названные распределения, следует отметить, что при одинаковых средних значениях $\bar{\omega}_{\text{с}}$ предпочтительными являются распределения $\omega_{\text{л}}$ с отрицательной асимметрией C_a . Такой характер распределений свойственен ЛС Карелии и Республике Коми. Коэффициент асимметрии для них равен соответственно 1,22 и 1,32. Предпочтительность распределений с отрицательной асимметрией заключается в том, что в этом случае основная масса бригад ЛС имеет параметр $\omega_{\text{л}}$ выше $\bar{\omega}_{\text{с}}$.



которых различие в значениях $\bar{\omega}_{\text{с}}$ и $\sigma_{\omega_{\text{с}}}$ не является существенным (табл. 4.5), и при расчетах можно принимать единые значения параметров $\bar{\omega}_{\text{с}}$.

Таблица 4.5

Установление согласия по $\bar{\omega}_{\text{д}}$ для различных ЛС

Лесопромышленные объединения РФ и РБ	$\sigma_{1,2} \cdot 10^{-2}$	t_{α}	$t_{\text{т}}, \%$		F_{α}	$F_{\text{т}}$ (5%)	Наличие различия
			10	5			
Архангельская область, Карелия	5,59	3,21	1,70	2,04	1,07	2,30	Есть
Архангельская область, Республика Коми	4,88	1,06	1,71	2,06	1,22	2,71	
Архангельская область, Вологодская область	5,80	1,95	1,72	2,09	1,17	2,39	Нет
Архангельская область, лесной комплекс РБ	5,97	1,81	1,67	2,00	1,23	1,96	
Карелия, Вологодская область	6,04	4,79	1,70	2,04	1,07	2,29	Есть
Карелия, Республика Коми	5,16	4,10	1,70	2,05	1,33	2,74	
Карелия, лесной комплекс РБ	6,21	1,80	1,67	2,00	1,12	1,88	Нет
Вологодская область, Республика Коми	5,39	0,94	1,71	2,06	1,42	2,76	
Вологодская область, лесной комплекс РБ	6,40	2,09	1,67	2,00	1,05	2,07	Есть
Республика Коми, лесной комплекс РБ	5,58	2,70	1,67	2,00	1,50	2,40	

Целесообразно выделить две группы ЛС:

- 1) Карелия, лесной комплекс РБ;
- 2) Архангельская область, Республика Коми.

Для первой группы $\bar{\omega}_{\text{с}}$ равен 0,80, для второй – 0,75.

4.4. Работоспособность лесосечных участков, эксплуатирующих тракторы ЛТ-171

Исследование работоспособности подразделений, эксплуатирующих тракторы ЛТ-171, осуществлялось в ЛС Архангельской и Вологодской областей, Карелии, а также в лесном комплексе РБ.

Полученные параметры $\omega_{\text{д}}$ и их оценка приведены в табл. 4.6.

Максимальные значения $\omega_{\text{д}}$ присущи подразделениям Карелии (0,77) и РБ (0,76), минимальные – Республике Коми (0,67). Диапазон отклонений отличается большей шириной, чем для ТДТ-55 и составляет $(2,87-8,95) \cdot 10^{-}$

Ошибки определения $\bar{\omega}_{\text{е}}$ и $\sigma_{\omega_{\text{е}}}$ не выходят соответственно за 4,01 и 2,84%, что приемлемо при установлении параметров лесозаготовительных процессов, систем и объектов.

Таблица 4.6

**Характеристики работоспособности лесосечных бригад,
эксплуатирующих тракторы ЛТ-171**

Лесопромышленные объединения РФ и РБ	$\bar{\omega}_{\text{л}}$	Доверительные интервалы $\pm \Delta$		$\sigma_{\omega_{\text{л}}} \cdot 10^{-2}$	$C_v \cdot 10^{-2}$	$\psi_{\omega_{\text{л}}}, \%$	$\psi_{\sigma}, \%$	Оценка $\bar{\omega}_{\text{л}}$		Оценка $\sigma_{\omega_{\text{л}}}$		C_a
		$p = 0,90$	$p = 0,95$					$t_{\text{э}}$	$t_{\text{т}}$	$F_{\text{э}}$	$F_{\text{т}}$	
Архангельская область	0,71	0,026	0,033	2,87	4,05	1,30	0,92	2,20	2,57	1,41	5,05	-1,58
Карелия	0,77	0,040	0,051	4,44	5,77	2,03	1,44	2,13	2,57	1,30	5,05	1,49
Республика Коми	0,67	0,032	0,041	3,54	5,28	1,62	1,13	2,23	2,57	1,49	5,05	1,37
Вологодская область	0,68	0,034	0,044	3,84	5,65	1,71	1,21	2,05	2,57	1,47	5,05	0,95
Лесной комплекс РБ	0,76	0,081	0,103	8,95	11,78	4,01	2,84	1,06	2,57	1,32	5,05	-5,76

Сравнение параметров $\bar{\omega}_{\text{е}}$ для ЛС, работающих на базе ТДТ-55 и ЛТ-171, позволяет заключить следующее.

Рассматривая участки на базе ЛТ-171 и ТДТ-55, отметим, что средние значения параметра $\bar{\omega}_{\text{е}}$ во всех случаях больше, если эксплуатируются тракторы ТДТ-55. Это превышение для одноименных ЛС составляет 0,04–0,07 или в среднем 7% по отношению к параметру $\bar{\omega}_{\text{е}}$ для подразделений, работающих на базе ЛТ-171.

Значения $\sigma_{\omega_{\text{е}}}$ практически во всех случаях больше для ЛС, базирующихся на тракторах ЛТ-171 в среднем на $0,72 \cdot 10^{-2}$ или на 15% относительно ЛС, эксплуатирующих тракторы ТДТ-55.

Ширина доверительного интервала Δ , используемого при установлении расчетного значения параметра $\omega_{\text{е}}$, определяется как

$$\omega_{\text{е}} = \bar{\omega}_{\text{е}} \pm \Delta. \quad (4.2)$$

Эта величина больше у ЛС, работающих на базе ЛТ-171. Так, если у

ЛС, функционирующих на базе ТДТ-55 ширина доверительного интервала колеблется в пределах 0,011–0,020 ($p = 0,90$), то для ЛС, базирующихся на тракторах ЛТ-171, она составляет 0,026–0,081 при той же доверительной вероятности. При доверительной вероятности $p = 0,95$ интервалы принимают значения соответственно 0,013–0,024 и 0,033–0,103. На основании изложенного можно сделать вывод о том, что разброс расчетных параметров будет в 2–4 раза больше для ЛС, базирующихся на тракторах ЛТ-171, нежели чем для ЛС, работающих на базе ТДТ-55. Большие значения доверительных интервалов имеют место при $p = 0,95$.

Графики изменения $\omega_{\text{г}}$ во времени (рис. 4.3) свидетельствуют об отсутствии функциональной зависимости $\omega_{\text{г}} = \omega(t)$. Это подтверждается оценками $\omega_{\text{г}}$ и $\sigma_{\omega_{\text{г}}}$ по критериям t и F (табл. 4.6).

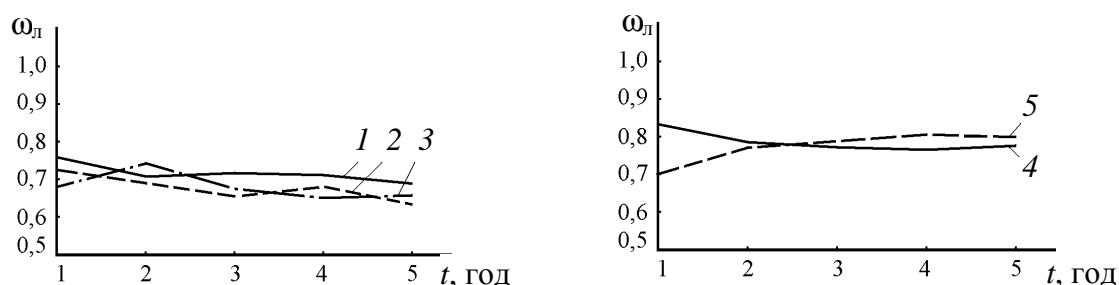


Рис. 4.3. Изменения $\omega_{\text{л}}$ в зависимости от времени для бригад, эксплуатирующих тракторы ЛТ-171:
1 – Архангельская область; 2 – Вологодская область; 3 – Республика Коми;
4 – Карелия; 5 – лесной комплекс РБ

При рассмотрении групп ЛС по производственным областям во всех случаях имели место условия $t_{\text{э}} < t_{\text{т}}$, $F_{\text{э}} < F_{\text{т}}$, что подтверждает правильность выдвинутой гипотезы.

На рис 4.4 приведены наиболее характерные распределения параметра $\omega_{\text{г}}$ для ряда лесопромышленных областей.

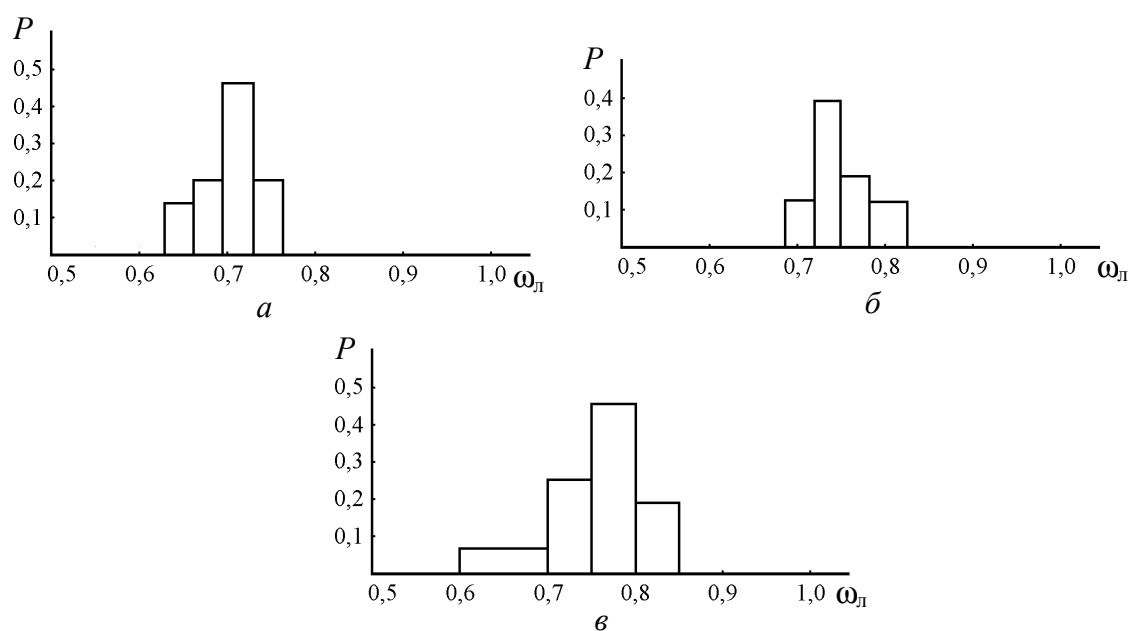


Рис. 4.4. Распределения $\omega_{\text{Л}}$ для бригад, эксплуатирующих тракторы ЛТ-171:
 а – Архангельская область; б – Карелия; в – лесной комплекс РБ

Остановившись на форме распределений $\omega_{\text{э}}$, для ЛС с базовыми тракторами ЛТ-171 свойственны распределения как с положительной, так и с отрицательной асимметрией. Причем соотношение ЛС с различными коэффициентами асимметрии приблизительно одинаково.

Предпочтительные, прогрессивные распределения $\omega_{\text{э}}$ характерны для ЛС Архангельской области, лесного комплекса РБ с отрицательной асимметрией соответственно 1,58 и 5,76. Для основной массы ЛС Карелии, Республики Коми и Вологодской области коэффициенты асимметрии положительны и расположены в диапазоне 0,95–1,49.

Формирование групп ЛС, в которых близки параметры $\overline{\omega_{\text{э}}}$ и $\sigma_{\omega_{\text{э}}}$, как и ранее велось по критериям t и F (табл. 4.7).

Таблица 4.7

Группы однородных ЛС (по участкам заготовки древесины)

Лесопромышленные объединения РФ и РБ	$\sigma_{1,2} \cdot 10^{-2}$	$t_{\text{э}}$	$t_{\text{т}}, \%$		$F_{\text{э}}$	$F_{\text{т}}$ (5%)	Наличие различия
			10	5			
Архангельская область, Карелия	5,29	1,80	1,86	2,31	1,55	5,05	Нет
Архангельская область, Республика Коми	4,56	1,39	1,86	2,31	1,23	5,05	

Архангельская область, Вологодская область	4,79	0,99	1,86	2,31	1,34	5,05	
Архангельская область, лесной комплекс РБ	9,40	0,84	1,86	2,31	3,12	5,05	
Карелия, Республика Коми	5,68	2,79	1,86	2,31	1,25	5,05	Есть
Карелия, Вологодская область	5,87	2,43	1,86	2,31	1,17	5,05	
Карелия, лесной комплекс РБ	9,99	0,16	1,86	2,31	2,02	5,05	Нет
Вологодская область, Республика Коми	5,22	0,30	1,86	2,31	1,36	5,05	
Республика Коми, лесной комплекс РБ	9,62	1,65	1,86	2,31	2,53	5,05	
Вологодская область, лесной комплекс РБ	9,74	1,30	1,86	2,31	2,33	5,05	

Выделены две группы ЛС с близкими параметрами $\bar{\omega}_\varepsilon$ и $\sigma_{\omega_\varepsilon}$:

- 1) Архангельская область, Карелия, лесной комплекс РБ;
- 2) Республика Коми и Вологодская область.

4.5. Работоспособность лесосечных участков, эксплуатирующих бесчокерные тракторы МЛ-127 и чокерные тракторы ТТ-4

Исследования, направленные на установление параметров работоспособности ω_ε для бригад, эксплуатирующих бесчокерные тракторы типа МЛ-127, проводились в тех же ЛС, что и для ТТ-4.

Параметры $\bar{\omega}_\varepsilon$ и их оценки приведены в табл. 4.8.

Средние значения параметра $\bar{\omega}_\varepsilon$ располагаются в диапазоне 0,62–0,71.

Таблица 4.8

Характеристики работоспособности лесосечных бригад, эксплуатирующих тракторы МЛ-127

Лесопромышленные объединения РФ и РБ	$\bar{\omega}_\varepsilon$	Доверительные интервалы $\pm\Delta$	$\sigma_{\omega_\varepsilon} \cdot 10^{-2}$	$C_v \cdot 10^{-2}$	$\psi_{\omega_\varepsilon}, \%$	$\psi_\sigma, \%$	Оценка $\bar{\omega}_\varepsilon$	Оценка $\sigma_{\omega_\varepsilon}$	C_a
--	----------------------------	--	---	---------------------	---------------------------------	-------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	-------

		$p = 0,90$	$p = 0,95$					t_3	t_T	F_3	F_T	
Республика Коми	0,71	0,026	0,032	2,92	4,11	1,32	0,92	2,37	2,45	1,41	4,28	0,13
Кировская область	0,71	0,066	0,083	7,50	10,56	3,41	2,42	2,31	2,45	2,84	4,28	0,52
Свердловская область	0,70	0,021	0,025	4,84	6,91	1,21	0,86	1,75	2,12	1,43	2,38	1,18
Томская область	0,68	0,016	0,021	2,02	2,97	0,87	0,62	1,72	2,36	1,50	4,28	0,79
Красноярский край	0,62	0,018	0,021	4,03	6,48	1,00	0,71	2,03	2,12	1,61	2,38	0,04
Иркутская область	0,63	0,026	0,032	5,57	8,84	1,49	1,06	2,10	2,14	1,59	2,53	-0,74
Хабаровский край	0,64	0,037	0,046	4,21	6,83	1,94	1,38	2,05	2,36	1,62	4,28	0,21

Максимальные значения ω_{ε} свойственны для ЛС Республики Коми, Кировской, Свердловской областей, а минимальные – для ЛС Красноярского края, Иркутской области. Средние квадратичные отклонения имеют значения $2,02 \cdot 10^{-2}$ – $7,50 \cdot 10^{-2}$.

Ошибки определения $\bar{\omega}_{\varepsilon}$ и $\sigma_{\omega_{\varepsilon}}$ не превышали соответственно 3,41 и 2,42%.

Анализ параметров работоспособности для ЛС, эксплуатирующих чокерные тракторы ТТ-4 и бесчокерные тракторы МЛ-127, свидетельствует о следующем.

Во всех случаях параметры $\bar{\omega}_{\varepsilon}$ выше у ЛС, работающих на базе ТТ-4. В абсолютных значениях они выше на 0,03–0,10. Разность в значениях параметра работоспособности для ЛС на базе МЛ-127 и ЛС на базе ТТ-4 максимальна для ЛС Хабаровского края (0,10) и минимальна для ЛС Иркутской области (0,03). В среднем работоспособность ЛС, эксплуатирующих бесчокерные тракторы МЛ-127, ниже на 8%, чем работоспособность ЛС на базе ТТ-4.

Значение $\sigma_{\omega_{\varepsilon}}$ во всех случаях, кроме ЛС Томской области и Хабаровского края, больше на $1,28 \cdot 10^{-2}$ или на 27% для ЛС на базе МЛ-127, чем для ЛС на базе ТТ-4.

Доверительные интервалы для параметра $\bar{\omega}_{\varepsilon}$ шире для ЛС, эксплуатирующих бесчокерные тракторы МЛ-127. Так, если для ЛС на базе ТТ-4 они составляют 0,014–0,39, то для ЛС на базе МЛ-127 – 0,016–0,066 при доверительной вероятности $p = 0,90$. При $p = 0,95$ значения интервалов Δ для ЛС на базе МЛ-127 будут соответственно

равны 0,021–0,083.

Разброс расчетных параметров $\bar{\omega}_{\text{с}}$, устанавливаемых по формуле (4.2), будет больше в 1,5–4 раза для ЛС, эксплуатирующих тракторы МЛ-127, чем у участков, работающих на базе ТТ-4. Графики изменения $\omega_{\text{с}}$ во времени (рис. 4.5) и значения экспериментальных критериев t и F не обнаруживают функциональной зависимости $\omega_{\text{с}} = \omega(t)$.

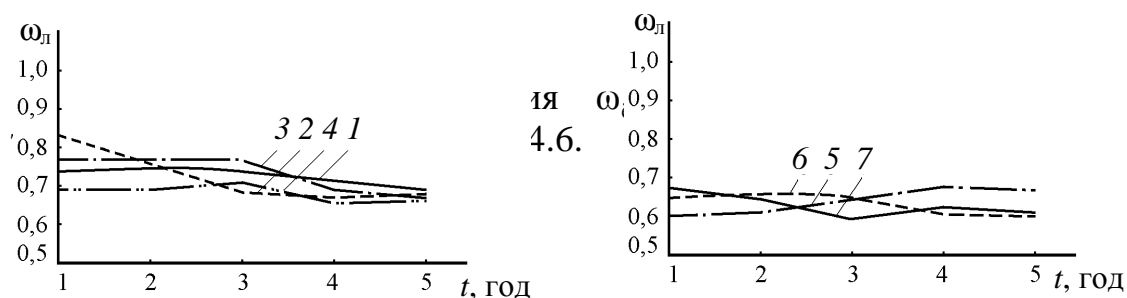
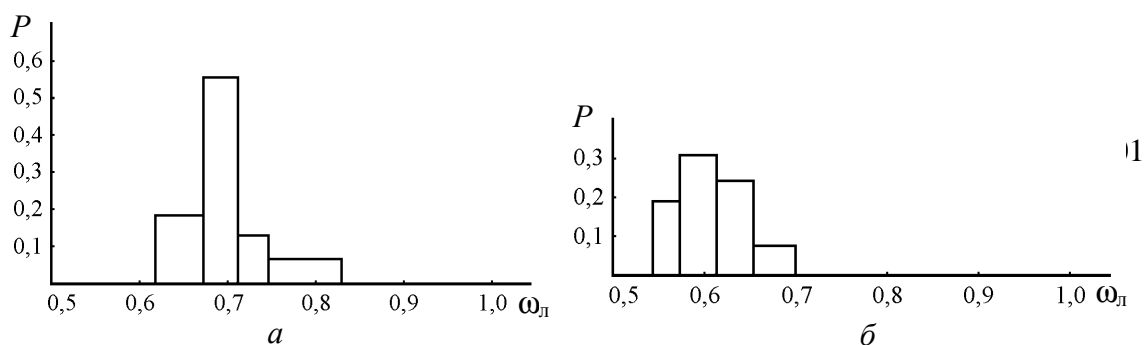


Рис. 4.5. Изменения $\omega_{\text{л}}$ в зависимости от времени для бригад, эксплуатирующих тракторы МЛ-127:

1 – Республика Коми; 2 – Кировская область; 3 – Свердловская область;
4 – Томская область; 5 – Красноярский край; 6 – Иркутская область;
7 – Хабаровский край



Основным типом распределений для ЛС на базе МЛ-127 являются распределения с положительной асимметрией, которая, однако, невелика (0,04–1,18). Другими словами, преобладают значения ω_{ε} , близкие к $\overline{\omega}_{\varepsilon}$ со стороны нижней границы доверительного интервала.

Подобный характер распределений свидетельствует, с одной стороны, о высокой чувствительности ω_{ε} для подразделений, работающих на базе МЛ-127, к воздействиям внешней среды, а с другой – о недостаточной отработке технологических процессов производственных участков по заготовке древесины.

В соответствии с критериями t и F , помещенными в табл. 4.9, осуществлено выделение групп ЛС, в которых лесосечные бригады, эксплуатирующие тракторы МЛ-127, имеют близкие значения параметра $\omega_{\text{л}}$:

1) Республика Коми, Кировская, Свердловская, Томская области;

2) Красноярский край, Иркутская область, Хабаровский край.

По первой группе параметр $\overline{\omega}_{\varepsilon}$ составляет 0,70 при индивидуальных значениях $\sigma_{\omega_{\varepsilon}}$, по второй группе $\overline{\omega}_{\varepsilon}$ равен 0,63.

Отсутствующие данные по другим леспромхозам и областям определены методикой установления параметров ω_{ε} и незначительным числом бригад, эксплуатирующих соответствующую технику.

Таблица 4.9

Группы однородных ЛС (по участкам заготовки древесины)

Лесопромышленные объединения РФ	$\sigma_{1,2} \cdot 10^{-2}$	t_3	$t_{\text{т}}, \%$		F_3	$F_{\text{т}}$	Наличие различия
			10	5			
Республика Коми, Кировская область	8,05	0	1,81	2,23	2,57	4,28	Нет
Республика Коми, Свердловская область	5,56	0,49	1,72	2,09	1,66	2,74	
Республика Коми, Томская область	3,25	1,60	1,81	2,23	1,45	4,28	
Республика Коми, Красноярский край	4,98	5,03	1,81	2,23	1,38	2,74	Есть
Республика Коми, Иркутская область	6,29	3,54	1,73	2,10	1,91	2,85	
Республика Коми, Хабаровский край	5,12	2,37	1,81	2,23	1,44	4,28	
Кировская область, Свердловская область	8,93	0,31	0,72	2,09	1,54	2,74	Нет

Кировская область, Томская область	7,76	0,67	1,81	2,23	3,71	4,28	
Кировская область, Красноярский край	8,51	2,94	1,72	2,09	1,86	2,74	Есть
Кировская область, Иркутская область	9,34	2,39	1,73	2,10	1,35	2,85	
Кировская область, Хабаровский край	8,60	1,86	1,81	2,23	1,78	4,28	
Свердловская область, Томская область	5,24	1,06	1,72	2,09	2,39	2,74	Нет
Свердловская область, Красноярский край	6,30	3,59	1,70	2,04	1,21	2,39	Есть
Свердловская область, Иркутская область	7,37	2,69	1,70	2,05	1,15	2,42	
Свердловская область, Хабаровский край	6,42	2,60	1,70	2,04	1,14	2,39	
Томская область, Красноярский край	4,51	3,70	1,72	2,05	2,01	2,74	
Томская область, Иркутская область	5,92	2,28	1,73	2,10	2,76	2,95	
Томская область, Хабаровский край	4,67	1,49	1,81	2,23	2,08	4,28	Нет
Красноярский край, Иркутская область	6,87	0,41	1,70	2,05	1,38	2,42	
Красноярский край, Хабаровский край	5,83	0,96	1,72	2,09	1,04	2,74	
Иркутская область, Хабаровский край	6,98	0,38	1,73	2,10	1,32	2,85	

4.6. Работоспособность транспортных связей лесопромышленных систем

При исследовании работоспособности транспортных связей за последние принимались лесовозные автодороги с автопоездами, осуществляющими вывозку древесины по автодороге в пределах ЛС. Функционирование такой транспортной связи предполагается в период времени, который соответствует добыче древесины, тяготеющей к рассматриваемой дороге. Этим обстоятельством определялась продолжительность исследования транспортных связей ЛС.

Работоспособность транспортных связей характеризуется следующими факторами: типом дорожного покрытия, длиной магистрали, типом используемого автопоезда, климатической зоной, рельефом и др. В пределах ЛС и объединений параметры d_T сопоставлялись при остальных равнодействующих факторах.

Так, в зависимости от типа дороги были отнесены к грунтовым, гравийным, асфальтобетонным. Используемые автопоезда – типа МАЗ и КрАЗ.

Условия и рельеф исследуемых ЛС характеризуются данными, приведенными в табл. 4.10. Длины магистралей анализировались вместе с параметром δ .

Таблица 4.10

Протяженность транспортных связей ЛС и их оценки

Лесопромышленные объединения РФ и РБ	l_0 , км	σ_{l_0} , км	Δl , км	δ , км
Архангельская область	30,1	1,22	1,41	0,55
Карелия	36,6	0,89	1,03	0,40
Республика Коми	39,8	2,93	2,55	1,31
Вологодская область	35,9	2,12	2,41	0,94
Кировская область	34,2	1,84	2,11	0,82
Томская область	42,4	3,29	2,98	1,47
Пермская область	33,6	1,48	1,70	0,65
Свердловская область	44,0	2,21	2,51	0,98
Тюменская область	46,2	4,96	4,46	2,21
Красноярский край	46,4	1,09	1,26	0,49
Иркутская область	41,8	2,24	2,57	1,00
Хабаровский край	54,4	3,16	2,85	1,41
Лесной комплекс РБ	46,8	1,78	1,79	0,73

Параметры ЛС и их оценки представлены в табл. 4.11. Определение работоспособности связей ЛС осуществлялось по [9].

Таблица 4.11

Характеристики работоспособности транспортных связей (грунтовые дороги)

Лесопромышленные объединения РФ и РБ	d_T	Доверительные интервалы $\pm \Delta$		$\sigma_{d_T} \cdot 10^{-2}$	$C_V \cdot 10^{-2}$	ψ_{d_T} , %	ψ_{σ} , %	Оценка \bar{d}_T		Оценка σ_{d_T}		C_a
		$p = 0,90$	$p = 0,95$					t_3	t_T	F_3	F_T	
Архангельская область	0,74	0,027	0,033	6,81	9,21	1,56	1,11	1,36	2,09	2,07	2,11	0,06
Вологодская область	0,69	0,044	0,053	9,62	13,94	2,49	1,76	2,04	2,13	1,99	2,69	-3,27
Карелия	0,77	0,017	0,020	4,04	5,25	0,95	0,67	2,01	2,12	2,37	2,60	-0,35

Пермская область	0,72	0,022	0,027	4,41	6,13	1,23	0,87	1,74	2,16	1,69	2,42	-1,63
Свердловская область	0,71	0,031	0,038	5,98	8,42	1,73	1,23	1,42	2,18	1,82	2,11	0,00
Красноярский край	0,65	0,022	0,026	5,83	8,97	1,27	0,90	1,81	2,08	2,16	2,60	0,31
Иркутская область	0,65	0,034	0,041	6,84	10,52	1,90	1,35	1,80	2,16	2,04	2,42	0,47
Хабаровский край	0,68	0,023	0,028	4,68	6,88	1,30	0,92	1,63	2,16	1,72	1,89	0,64
Лесной комплекс РБ	0,77	0,012	0,014	3,93	5,10	0,67	0,48	1,91	2,11	2,07	2,29	0,04

Известно, что за редким исключением расстояние вывозки древесины и продолжительность магистралей возрастает в современных ЛС.

Среднее расстояние вывозки, или протяженность лесовозной дороги, представим в первом приближении линейной функцией от времени t . Распределение же \bar{l}_0 можно принять нормальным. Приемлемость данного допущения подтверждается значениями коэффициента асимметрии C_a и критерия Пирсона χ^2 , полученными для поисковых выборок. Тогда имеет место линейная модель прогноза с нормальными ошибками:

$$l_0(t) = l_0 + \Delta l t \pm |\delta|,$$

где $l_0(t)$ – протяженность лесовозной дороги на прогнозируемый момент t , км; l_0 – протяженность дороги на начальный момент (принято $t_0 = 1990$ г.), км; Δl – удлинение лесовозной дороги, км; δ – ошибка определения Δl .

Возможность сопоставления ЛС с различными по протяженности лесотранспортными магистралями обоснована критериями t и F (табл. 4.12), экспериментальные значения которых не превышают табличных.

Таблица 4.12

Характеристики лесотранспортных магистралей ЛС

Лесопромышленные объединения РФ и РБ	$\frac{l(t)_1}{l(t)_2}$	$\sigma_{1,2}$, км	t_3	t_T	F_3	F_T
1	2	3	4	5	6	7
Карелия, Вологодская область	$\frac{37,6}{38,3}$	2,30	0,48	2,57	2,38	5,05
Карелия,	$\frac{37,6}{38,3}$	2,04	1,01	2,57	2,07	5,05

Кировская область	36,3					
Карелия, Пермская область	<u>37,6</u> 35,3	1,73	2,11	2,57	1,66	5,05
Республика Коми, Вологодская область	<u>43,2</u> 38,3	3,62	2,15	2,57	1,59	5,05
Республика Коми, Свердловская область	<u>43,2</u> 46,5	3,67	1,43	2,57	1,33	5,05
Республика Коми, Тюменская область	<u>43,2</u> 51,9	5,76	2,39	2,57	1,69	5,05
Республика Коми, Томская область	<u>43,2</u> 46,2	4,40	1,08	2,57	1,12	5,05
Республика Коми, Красноярский край	<u>43,2</u> 47,7	3,12	2,28	2,57	2,69	5,05
Республика Коми, Иркутская область	<u>43,2</u> 47,7	3,69	0,52	2,57	1,30	5,05
Вологодская область, Кировская область	<u>38,3</u> 36,3	2,81	1,13	2,57	1,15	5,05
Вологодская область, Пермская область	<u>38,3</u> 35,3	2,58	1,84	2,57	1,43	5,05
Кировская область, Пермская область	<u>36,3</u> 35,3	2,36	0,67	2,57	1,24	5,05
Свердловская область, Тюменская область	<u>46,5</u> 51,9	5,43	1,58	2,57	2,24	5,05
Свердловская область, Томская область	<u>46,5</u> 46,2	3,96	0,12	2,57	1,49	5,05
Свердловская область, Красноярский край	<u>46,5</u> 47,7	2,46	0,77	2,57	2,10	5,05
Свердловская область, Иркутская область	<u>46,5</u> 44,4	3,15	1,06	2,57	1,01	5,05
Свердловская область, лесной комплекс РБ	<u>46,5</u> 48,6	2,84	1,17	2,57	1,25	5,05

Окончание табл. 4.12

1	2	3	4	5	6	7
Тюменская область, Томская область	<u>51,9</u> 46,2	5,95	1,52	2,57	1,50	5,05
Тюменская область, Красноярский край	<u>51,9</u> 47,7	5,08	1,31	2,57	4,55	5,05
Тюменская область, Иркутская область	<u>51,9</u> 44,4	5,43	2,19	2,57	2,21	5,05
Тюменская область, Хабаровский край	<u>51,9</u> 58,0	5,88	1,64	2,57	1,57	5,05
Тюменская область, лесной комплекс РБ	<u>51,9</u> 48,6	5,27	0,90	2,57	2,79	5,05
Томская область, Красноярский край	<u>46,2</u> 47,7	3,47	0,69	2,57	3,02	5,05

Томская область, Иркутская область	$\frac{46,2}{44,4}$	3,98	0,72	2,57	1,47	5,05
Томская область, лесной комплекс РБ	$\frac{46,2}{48,6}$	3,78	1,01	2,57	1,85	5,05
Красноярский край, Иркутская область	$\frac{47,7}{44,4}$	2,49	2,10	2,57	2,06	5,05
Красноярский край, лесной комплекс РБ	$\frac{47,7}{48,6}$	2,84	0,50	2,57	1,26	5,05

Примечание. Различий между рассматриваемыми характеристиками нет.

Условием сопоставления параметров ЛС здесь является тождественность всех остальных влияющих факторов.

Переходя к непосредственному анализу характеристик работоспособности d_{Ti} , отметим, что значение \bar{d}_0 располагается в диапазоне 0,65–0,77. Если рассматривать имеющие место значения d_{Ti} , то диапазон равен 0,51–0,90.

Максимальные значения d_{Ti} и \bar{d}_0 присущи лесотранспортным связям ЛС Карелии и лесного комплекса РБ (0,77), минимальные – лесотранспортным связям ЛС Красноярского края и Иркутской области (0,65).

Величины доверительных интервалов Δ для определения расчетных параметров \bar{d}_0 в формуле $d_0 = \bar{d}_0 \pm \Delta$ при $p = 0,90$ колеблются в пределах 0,012–0,044 и при $p = 0,95$ – 0,015–0,053. Большие значения доверительных интервалов свойственны ЛС с низкими \bar{d}_0 (ЛС Вологодской и Иркутской областей).

Средние квадратичные отклонения σ_{d_0} имеют значения, равные $2,64 \cdot 10^{-2}$ – $9,62 \cdot 10^{-2}$. Максимальный разброс d_{Ti} характерен лесотранспортным связям ЛС Вологодской ($\sigma = 9,62 \cdot 10^{-2}$), Иркутской ($\sigma = 6,84 \cdot 10^{-2}$), Архангельской ($\sigma = 6,81 \cdot 10^{-2}$) областям, т. е. как с низкими значениями \bar{d}_0 (ЛС Иркутской области), так и с высокими (ЛС Архангельской области).

Расположение ошибок в областях до $\psi_{d_0} \leq 2,49\%$ и $\psi_\sigma \leq 1,76\%$ позволяет считать значения \bar{d}_0 и σ_{d_0} достоверными и приемлемыми для технологических расчетов.

Гипотеза об отсутствии функциональной связи $d_{Ti} = d_T(t)$ проверялась с помощью зависимостей на рис. 4.7 и критериев t и F , значения которых даны в табл. 4.11. Практически во всех случаях соблюдались требуемые условия $t_T > t_3$, $F_T > F_3$.

t , год

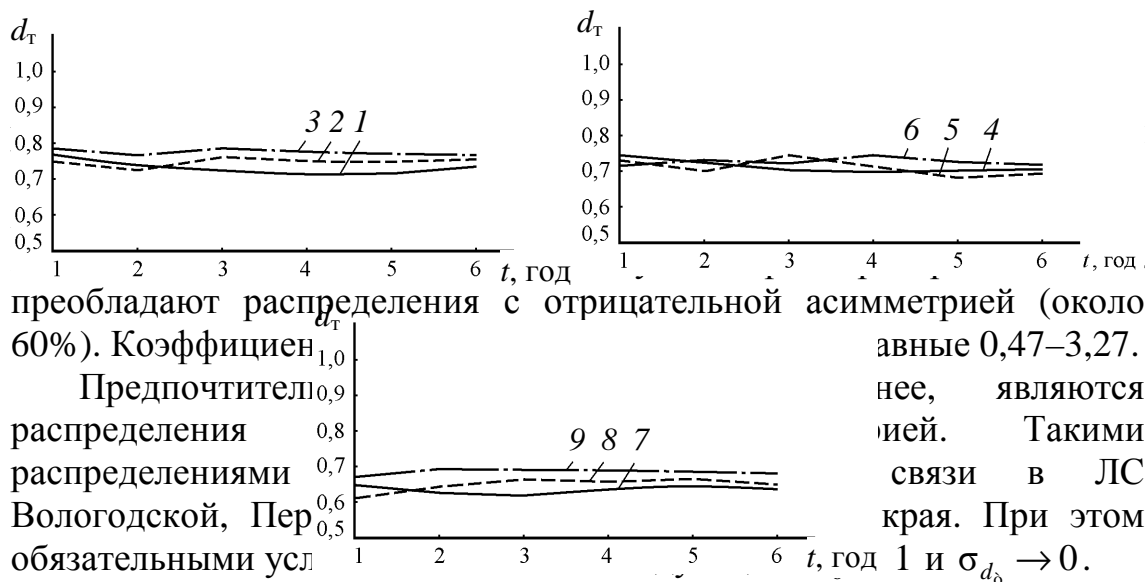


Рис. 4.7. Изменения параметра d_T в зависимости от времени:

- 1 – Архангельская область; 2 – Карелия; 3 – лесной комплекс РБ;
 4 – Вологодская область; 5 – Пермская область; 6 – Свердловская область;
 7 – Красноярский край; 8 – Иркутская область; 9 – Хабаровский край

d_T

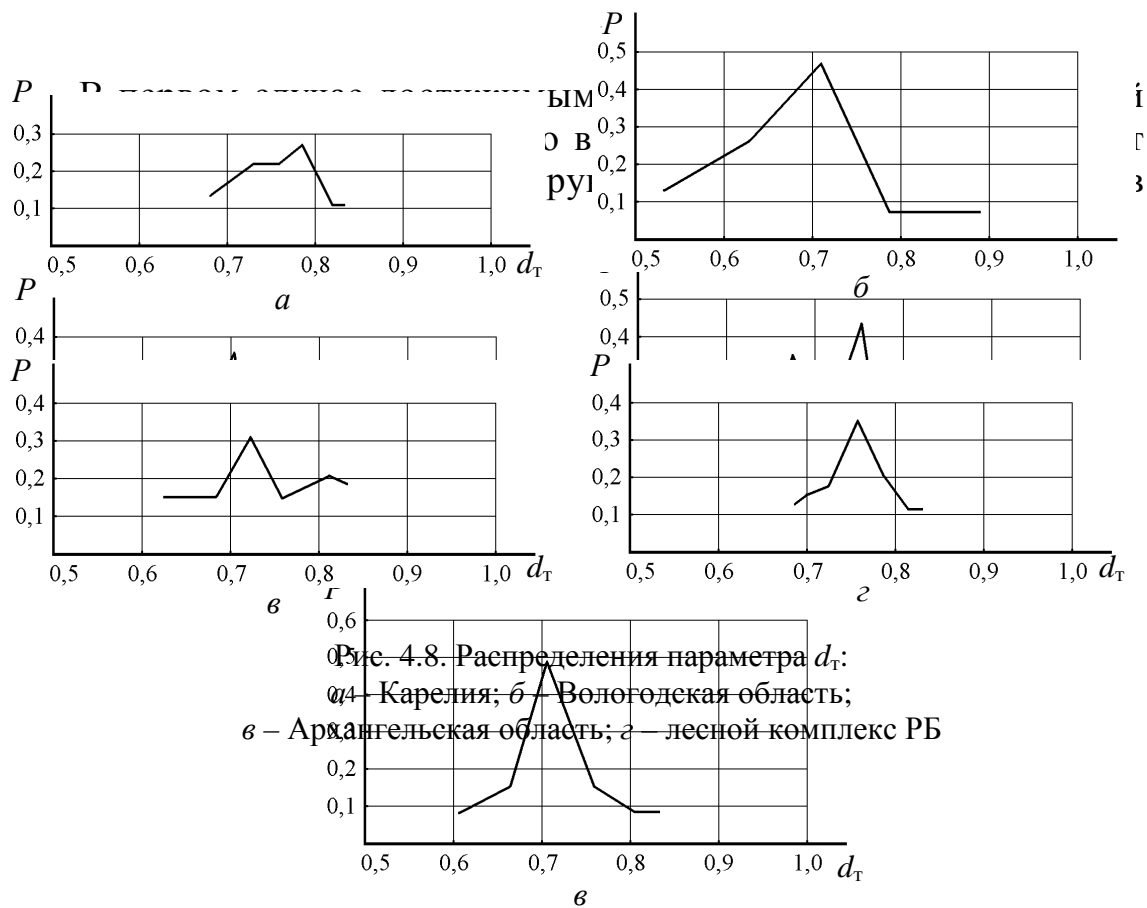
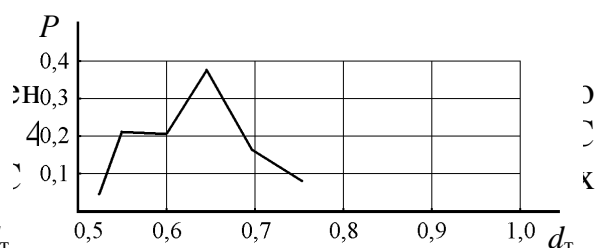
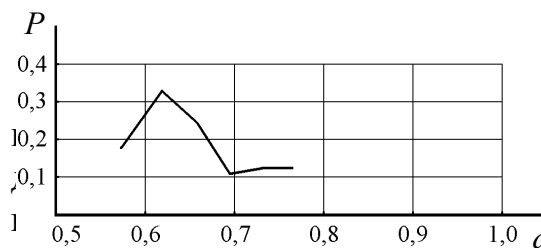


Рис. 4.9. Распределения параметра d_T :
 а – Республика Коми; б – Пермская область; в – Свердловская область



- 1) Архангельская, Вологодская, Пермская, Свердловская области и Республика Коми;
 2) Карелия, лесной комплекс РБ;
 3) Красноярский край, Хабаровский край.

Группы объединений РФ и РБ

Таблица 4.13
(связям)

Лесопромышленные объединения РФ и РБ	d_T					F_T	Наличие различия
1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	7	8
Архангельская область, Вологодская область	1,79	1,23	1,70	2,04	1,41	2,25	Нет
Архангельская область, Карелия	7,92	1,12	1,70	2,04	1,69	2,24	
Архангельская область, Республика Коми	7,30	1,56	1,70	2,04	2,58	2,27	
Архангельская область, лесной комплекс РБ	7,86	1,33	1,67	2,00	1,73	1,99	

Продолжение табл. 4.13

1	2	3	4	5	6	7	8
Архангельская область, Пермская область	8,11	0,68	1,70	2,04	1,54	2,30	Нет
Архангельская область, Свердловская область	9,06	0,90	1,70	2,04	1,14	2,31	
Архангельская область, Красноярский край	8,96	3,17	1,68	2,02	1,17	2,15	Есть
Архангельская область, Иркутская область	9,65	2,59	1,70	2,04	1,00	2,31	
Архангельская область, Хабаровский край	8,26	2,07	1,71	2,06	1,46	2,24	

Вологодская область, Карелия	10,43	2,13	1,70	2,05	2,38	2,40	
Вологодская область, Республика Коми	9,98	0,27	1,70	2,05	3,64	2,41	Нет
Вологодская область, лесной комплекс РБ	10,39	2,48	1,68	2,02	2,45	2,09	Есть
Вологодская область, Пермская область	10,58	0,75	1,71	2,06	2,18	2,42	Нет
Вологодская область, Свердловская область	11,33	0,46	1,71	2,06	1,61	2,48	
Вологодская область, Красноярский край	11,25	1,58	1,70	2,04	1,65	2,29	
Вологодская область, Иркутская область	11,80	0,89	1,71	2,06	1,41	2,46	
Вологодская область, Хабаровский край	10,70	0,25	1,71	2,06	2,07	2,46	
Карелия, Республика Коми	4,83	3,95	1,70	2,05	1,53	2,44	Есть
Карелия, лесной комплекс РБ	5,64	0	1,68	2,02	1,03	2,01	Нет
Карелия, Пермская область	5,98	2,24	1,70	2,05	1,09	2,52	Есть
Карелия, Свердловская область	7,22	2,17	1,71	2,06	1,48	2,42	
Карелия, Красноярский край	7,09	5,10	1,70	2,04	1,44	2,52	
Карелия, Иркутская область	7,94	4,05	1,70	2,05	1,69	2,59	
Карелия, Хабаровский край	6,18	4,76	1,70	2,05	1,16	2,59	
Республика Коми, лесной комплекс РБ	4,73	4,66	1,68	2,02	1,49	2,09	

Окончание табл. 4.13

1	2	3	4	5	6	7	8
Республика Коми, Пермская область	5,14	1,01	1,71	2,06	1,67	2,53	Нет
Республика Коми, Свердловская область	6,54	0,40	1,71	2,06	2,27	2,53	
Республика Коми, Красноярский край	6,40	2,27	1,70	2,04	2,21	2,35	Есть
Республика Коми, Иркутская область	7,33	1,77	1,71	2,06	2,59	2,57	
Республика Коми,	5,37	0,97	1,71	2,06	1,77	2,57	Нет

Хабаровский край							
Лесной комплекс РБ, Пермская область	5,91	2,60	1,68	2,02	1,12	2,21	Есть
Лесной комплекс РБ, Свердловская область	7,16	2,50	1,68	2,02	1,52	2,21	
Лесной комплекс РБ, Красноярский край	7,03	6,15	1,67	2,00	1,48	1,81	
Лесной комплекс РБ, Иркутская область	7,89	4,67	1,68	2,02	1,74	2,30	
Лесной комплекс РБ, Хабаровский край	6,11	4,52	1,68	2,02	1,19	2,30	
Пермская область, Свердловская область	7,43	0,34	1,71	2,06	1,36	2,60	Нет
Пермская область, Красноярский край	7,31	2,71	1,70	2,04	1,32	2,25	Есть
Пермская область, Иркутская область	8,14	2,15	1,71	2,06	1,55	2,59	
Пермская область, Хабаровский край	6,43	1,59	1,71	2,06	1,06	2,59	
Свердловская область, Красноярский край	8,35	1,99	1,70	2,04	1,03	2,25	
Свердловская область, Иркутская область	9,09	1,62	1,72	2,08	1,14	2,60	Нет
Свердловская область, Хабаровский край	7,59	0,97	1,71	2,06	1,28	2,59	
Красноярский край, Иркутская область	8,99	0	1,70	2,04	1,17	2,25	
Красноярский край, Хабаровский край	9,48	0,91	1,70	2,04	1,25	2,23	
Иркутская область, Хабаровский край	8,29	0,92	1,71	2,06	1,46	2,59	

Кроме названных групп, можно рассматривать ЛС из двух областей, причем эти группы следует брать из табл. 4.13 при отсутствии различия по критериям t и F .

Сравнения по функционированию лесопромышленных систем, оснащенных различным оборудованием, позволяют оценивать возможность его использования в аналогичных экономических и природно- производственных условиях различных регионов. При этом необходимо отметить, что в качестве критерия можно применять прибыль на 1 м^3 заготавливаемой древесины. К тому же следует

обязательно учесть интересы потребителя: ассортимент лесопroduкции, качество, стоимость, точность поставок.

5. СТРУКТУРЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ

5.1. Основные положения

Поскольку структура ЛС непосредственно связана с организацией, технологией, технической оснащённостью, природными условиями, создание эффективных ЛС требует функционирования существующих структур, установления законов их

развития и их зависимости от влияющих факторов среды.

Исследование структур ЛС в условиях их функционирования осуществлялось по трем крупным зонам: европейская часть РФ и РБ, Урал и Сибирь.

Исследование структур (*Str*) проводилось на лесопромышленных предприятиях различных регионов РФ и РБ.

ЛС рассматриваются нами, согласно разделам 2–4, и представляются в общем виде как

$$\frac{n_1}{\{\omega_i, Q_i, v_i\}} \xrightarrow{m\{l_{ij}, d_{ij}, Q_{ij}^T, f_{ij}\}} \frac{n_2}{\{\omega_j, Q_j, v_j\}},$$

где n_1 – число участков заготовки древесины, $n_1 \geq 1$; n_2 – число лесных складов, $n_2 \geq 1$; m – число лесовозных дорог, по которым осуществляется вывозка древесины от n_1 к n_2 , $m \geq 1$; ω_i, ω_j – параметры надежности производственных участков; Q_{ij}^0, Q_i, Q_j – вероятности вывода производственных участков из строя внешней средой; v_i, v_j – мощности производственных участков, складов; f_{ij} – пропускная способность лесовозной дороги; l_{ij} – длина лесовозной дороги; d_{ij} – параметр надежности функционирования дороги.

5.2. Условия функционирования лесопромышленных систем европейской части Российской Федерации и Республики Беларусь

Исследованию по данной группе ЛС подверглись 59 лесопромышленных предприятий в Вологодской, Архангельской областях, Карелии, Республике Коми и лесном комплексе РБ с суммарной годовой производственной программой 27,59 млн. м³.

Характеристика условий, в которых функционируют ЛС, приведена в табл. 5.1.

Согласно данным, ЛС выделенной группы близки по всем основным природно-производственным условиям.

Таблица 5.1

Характеристика условий работы ЛС европейской части РФ и РБ

Лесопромышленные объединения РФ и РБ	Состав насаждений, %		Объем хлыста, м ³	Запас на 1 га, м ³	Заболоченность, %	Рельеф местности
	хвойные	лиственные				

Архангельская область	60–90	10–40	0,19–0,29	110–210	0–68	Равнинны й, 97–98% для всех областей
Вологодская область	60–100	0–40	0,18–0,39	100–170	0–70	
Карелия	50–90	10–50	0,17–0,29	85–208	1–70	
Республика Коми	40–100	0–60	0,21–0,43	130–240	8–65	
Лесной комплекс РБ	20–60	40–80	0,18–0,36	86–350	10–74	

Важным элементом в структуре ЛС является лесной склад, наличие, мощность и технология работ которого устанавливают необходимое и достаточное число участков заготовки, транспортных связей. В табл. 5.2 и 5.3 даны обобщенные распределения лесных складов для рассматриваемой группы ЛС.

Таблица 5.2

Распределение лесных складов по проектируемому сроку действия, %

Лесопромышленные объединения РФ и РБ	Период, лет				
	<5	5–10	10–15	15–20	>20
Архангельская область	0,5	27,0	30,3	21,9	20,3
Вологодская область	–	35,2	14,9	19,0	30,9
Карелия	11,0	21,8	20,4	22,1	24,7
Республика Коми	–	5,0	6,4	20,2	68,4
Лесной комплекс РБ	–	9,3	18,6	21,5	50,6

Таблица 5.3

Распределение лесных складов по грузообороту, %

Лесопромышленные объединения РФ и РБ	Грузооборот, тыс. м ³								
	до 50	51–100	101–150	151–200	201–250	251–300	301–350	351–400	>400
Архангельская область	3,0	31,4	27,6	14,0	13,6	6,5	3,9	–	–
Вологодская область	7,3	14,6	14,5	17,9	7,3	10,0	16,4	–	12,0
Карелия	7,1	24,0	26,9	26,0	12,0	1,9	–	1,9	–
Республика Коми	15,0	14,5	20,7	24,0	9,7	4,6	4,1	–	7,4
Лесной комплекс РБ	18,3	34,7	26,9	12,0	2,2	3,8	2,1	–	–

Во всех ЛС на лесные склады в основном вывозятся хлысты. Приведенные данные свидетельствуют о близости ЛС по типу лесных складов и их характеристикам.

**5.3. Типы структур лесопромышленных систем
и их распределение для европейской части
Российской Федерации и Республики Беларусь**

Полученные типы структур и их распределение приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Распределение структур ЛС европейской части РФ и РБ

$Str\ n_1 \leftrightarrow 1$	1–1	2–1	3–1	4–1	5–1	6–1	7–1
$p, \%$	–	2,0	12,2	2,1	1,9	0,4	3,7
$Str\ n_1 \leftrightarrow 2$	2–2	3–2	4–2	5–2	6–2	7–2	8–2
$p, \%$	–	2,0	6,1	2,4	4,0	2,1	2,0
$Str\ n_1 \leftrightarrow 3$	3–3	4–3	5–3	6–3	7–3	8–3	9–3
$p, \%$	1,3	6,2	0,6	8,2	4,1	3,0	1,0
$Str\ n_1 \leftrightarrow 4$	4–4	5–4	6–4	7–4	8–4	9–4	–
$p, \%$	4,1	2,6	6,1	1,2	2,0	1,6	–
$Str\ n_1 \leftrightarrow 5$	5–5	6–5	7–5	8–5	9–5	–	–
$p, \%$	6,0	3,2	1,7	0,8	1,4	–	–
$Str\ n_1 \leftrightarrow 6$	6–6	7–6	8–6	–	–	–	–
$p, \%$	–	–	1,9	–	–	–	–
$Str\ n_1 \leftrightarrow 7$	7–7	–	12–7	–	–	–	–
$p, \%$	–	–	1,1	–	–	–	–
$Str\ n_1 \leftrightarrow 8$	8–8	9–8	–	–	–	–	–
$p, \%$	–	1,0	–	–	–	–	–

В существующих ЛС имеет место значительное разнообразие типов структур, которых всего выявлено 30. Наиболее распространенными являются структуры ЛС типа $3 \leftrightarrow 1$ (12,2%) и $6 \leftrightarrow 3$ (8,2%). Наибольшее число ЛС приходится на $Str\ n_1 \leftrightarrow 1$ (22,3%), $n_1 \leftrightarrow 2$ (18,6%) и $n_1 \leftrightarrow 3$ (24,3%). С ростом сложности Str (по числу n_1, n_2, m) встречаемость таких структур уменьшается до 1–2%, что имеет место для $Str\ n_1 \leftrightarrow 6, n_1 \leftrightarrow 7, n_1 \leftrightarrow 8$.

Распределения структур внутри каждого класса даны в табл. 5.5.

Для структур вида $n_1 \leftrightarrow 1$ наиболее широко распространенными являются $Str\ 3 \leftrightarrow 1$ (54%). Остальные встречаются, как правило, не более чем в 10%. В структурах $n_1 \leftrightarrow 2$ и $n_1 \leftrightarrow 3$ основными являются $Str\ 4 \leftrightarrow 2$ и $6 \leftrightarrow 3$, причем их соответственно 33,2 и 36,3% от общего числа Str по каждому классу.

Таблица 5.5

Распределение структур внутри классов для ЛС европейской части РФ и РБ

Str	$1 \leftrightarrow 1$	$2 \leftrightarrow 1$	$3 \leftrightarrow 1$	$4 \leftrightarrow 1$	$5 \leftrightarrow 1$	$6 \leftrightarrow 1$	$7 \leftrightarrow 1$
$p, \%$	–	9,3	54,0	9,4	9,3	–	18,0

Str $p, \%$	$2 \leftrightarrow 2$ –	$3 \leftrightarrow 2$ 11,1	$4 \leftrightarrow 2$ 33,2	$5 \leftrightarrow 2$ 11,7	$6 \leftrightarrow 2$ 22,0	$7 \leftrightarrow 2$ 11,0	$8 \leftrightarrow 2$ 11,0
Str $p, \%$	$3 \leftrightarrow 3$ 6,1	$4 \leftrightarrow 3$ 18,2	$5 \leftrightarrow 3$ –	$6 \leftrightarrow 3$ 36,3	$7 \leftrightarrow 3$ 24,2	$8 \leftrightarrow 3$ 6,1	$9 \leftrightarrow 3$ 9,1
Str $p, \%$	$4 \leftrightarrow 4$ 24,1	$5 \leftrightarrow 4$ 12,8	$6 \leftrightarrow 4$ 37,5	$7 \leftrightarrow 4$ 2,0	$8 \leftrightarrow 4$ 12,6	$9 \leftrightarrow 4$ 11,0	– –
Str $p, \%$	$5 \leftrightarrow 5$ 50,0	$6 \leftrightarrow 5$ 17,2	$7 \leftrightarrow 5$ 16,5	$8 \leftrightarrow 5$ –	$9 \leftrightarrow 5$ –	$10 \leftrightarrow 5$ 16,3	– –

подавляющее число ЛС структуры $n_1 \leftrightarrow 4$ и $n_1 \leftrightarrow 5$ приходится на Str с низкой централизацией. Так, в Str $n_1 \leftrightarrow 4$ 37,5% соответствует Str $6 \leftrightarrow 4$, а в Str $n_1 \leftrightarrow 5$ 50,0% приходится на Str $5 \leftrightarrow 5$.

5.4. Зависимость структур лесопромышленных систем от основных природно-производственных факторов для европейской части Российской Федерации и Республики Беларусь

Теоретический и практический интерес представляет установление зависимостей сложности структур ЛС от доминирующих факторов среды. Выбранные факторы и их уровни приведены в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Факторы в ЛС и их уровни

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Уровень фактора
1. Мощность ЛС	Φ_1	тыс. м ³	1,0
2. Почвенно-грунтовые условия	Φ_2	Влажность, %	5,0
3. Объем дерева	Φ_3	м ³	0,1
4. Запас на 1 га	Φ_4	м ³	1,0
5. Породный состав	Φ_5	Преобладающие породы	Хвойные, мягколиственные, твердолиственные
6. Рельеф	Φ_6	Крутизна склонов	5,0
7. Захламленность лесосеки	Φ_7	Степень захламленности, %	10,0
8. Подрост	Φ_8	Обеспеченность	Да, нет
9. Глубина снежного покрова	Φ_9	м	0,2

Поисковые экспериментальные зависимости позволили выделить следующие значимые в отношении структуры факторы: мощность (Φ_1),

почвенно-грунтовые условия (Φ_2), объем дерева (Φ_3), запас древесины на 1 га (Φ_4), породный состав (Φ_5). На рис. 5.1–5.5 приведены зависимости сложности структуры от мощности ЛС.

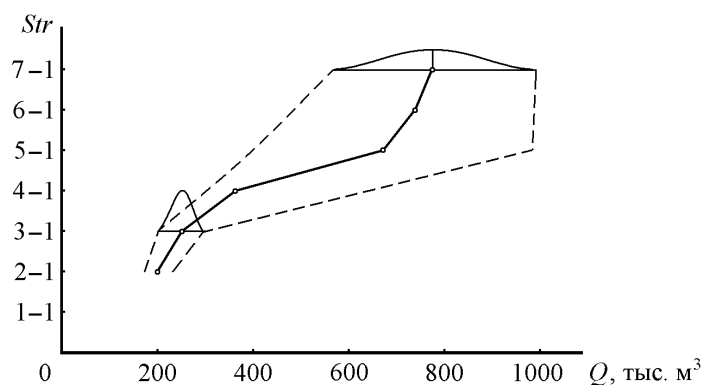


Рис. 5.1. Зависимость структур $n_1 \leftrightarrow 1$ от мощности ЛС

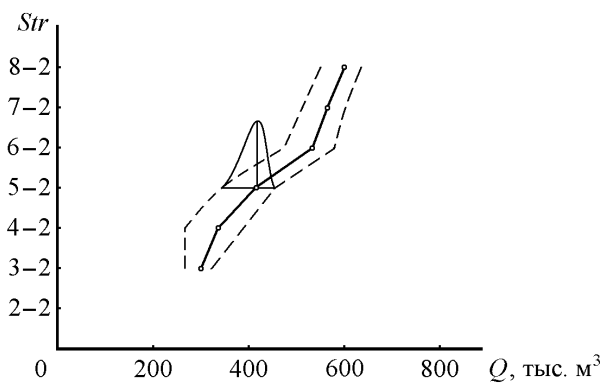


Рис. 5.2. Зависимость структур $n_1 \leftrightarrow 2$ от мощности ЛС

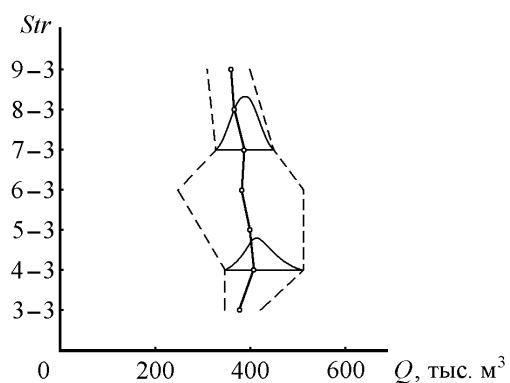


Рис. 5.3. Зависимость структур $n_1 \leftrightarrow 3$ от мощности ЛС

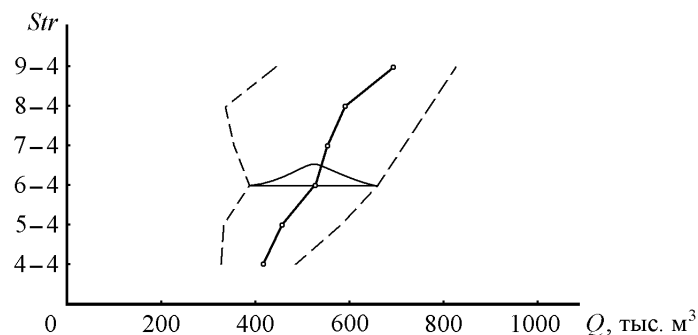


Рис. 5.4. Зависимость структур $n_1 \leftrightarrow 4$ от мощности ЛС

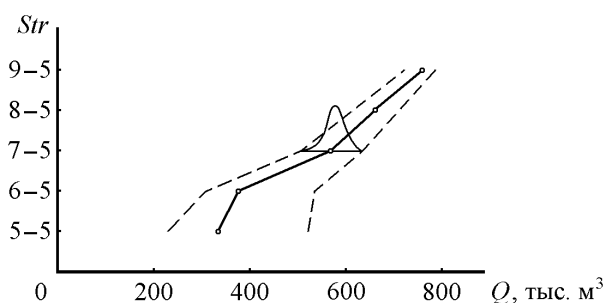


Рис. 5.5. Зависимость структур $n_1 \leftrightarrow 5$ от мощности ЛС

Сложность $Str\ n_1 \leftrightarrow 1$ возрастает с увеличением мощности ЛС, и диапазон мощностей ЛС с одинаковой структурой расширяется с усложнением последней. Так, если для $Str\ 2 \leftrightarrow 1$ диапазон мощностей ЛС составляет 180–230 тыс. м³, то для $Str\ 5 \leftrightarrow 1$ он равен 405–1000 тыс. м³.

Возрастание сложности структуры с увеличением мощности ЛС наблюдается и для $Str\ n_1 \leftrightarrow 2$. Однако сложность в этом случае растет быстрее, чем у $Str\ n_1 \leftrightarrow 1$. Сузился диапазон мощностей и стал практически равномерным (в среднем 95 тыс. м³). Исключение составляет $Str\ 3 \leftrightarrow 2$, где диапазон равен 40 тыс. м³.

В ЛС со $Str\ n_1 \leftrightarrow 3$ сложность структуры возрастает практически при неизменной мощности ЛС, равной в среднем 370–420 тыс. м³.

При рассмотрении всего диапазона мощностей ЛС, равного 260–540 тыс. м³, наблюдается повышение сложности структуры при уменьшении мощности ЛС ($Str\ 6 \leftrightarrow 3$, $7 \leftrightarrow 3$, $8 \leftrightarrow 3$). Самый узкий диапазон мощностей принадлежит $Str\ 3 \leftrightarrow 3$ и составляет 350–420 тыс. м³.

Сложность $Str\ n_1 \leftrightarrow 4$ увеличивается с ростом мощности ЛС, причем эта зависимость близка к $Str\ n_1 \leftrightarrow 2$. Отличием является больший диапазон мощности предприятий для одних и тех же

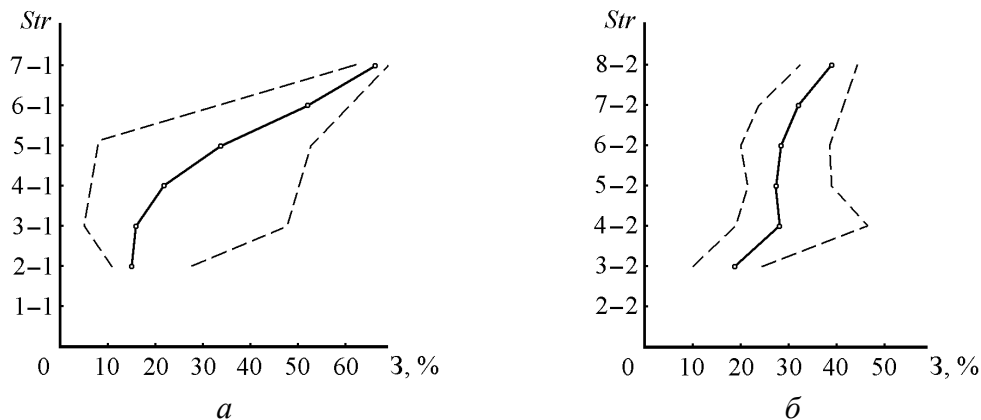
структур: 350–500 тыс. м³ для $Str\ n_1 \leftrightarrow 4$ и 480–820 тыс. м³ для $Str\ 9 \leftrightarrow 4$.

Для $Str\ n_1 \leftrightarrow 5$ свойственна пропорциональная зависимость сложности структур от мощности ЛС. Число же высших структур в этом классе убывает с увеличением мощности ЛС. Одновременно сужается диапазон мощностей. Так, если в $Str\ 5 \leftrightarrow 5$ он составляет 230–550 тыс. м³, то в $Str\ 9 \leftrightarrow 5$ он равен 740–760 тыс. м³.

Изложенное позволяет заключить следующее. Во-первых, возрастание сложности структур от низших к высшим по каждому из классов ЛС не всегда сопровождается увеличением мощности ЛС. Особенно наглядно это иллюстрируется на примере ЛС $Str\ n_1 \leftrightarrow 3$, в которых возрастание сложности структуры идет при уменьшении мощности ЛС.

Во-вторых, во всех классах ЛС имеют место значительные диапазоны мощностей ЛС с одинаковыми структурами, например, $n_1 \leftrightarrow 1$, $n_1 \leftrightarrow 3$, $n_1 \leftrightarrow 4$, $n_1 \leftrightarrow 5$, что свидетельствует о чувствительности Str к другим факторам и о нерациональном построении ЛС.

Чувствительность структур ЛС к почвенно-грунтовым условиям, в которых функционируют участки, снижается с ростом сложности структур (рис. 5.6).



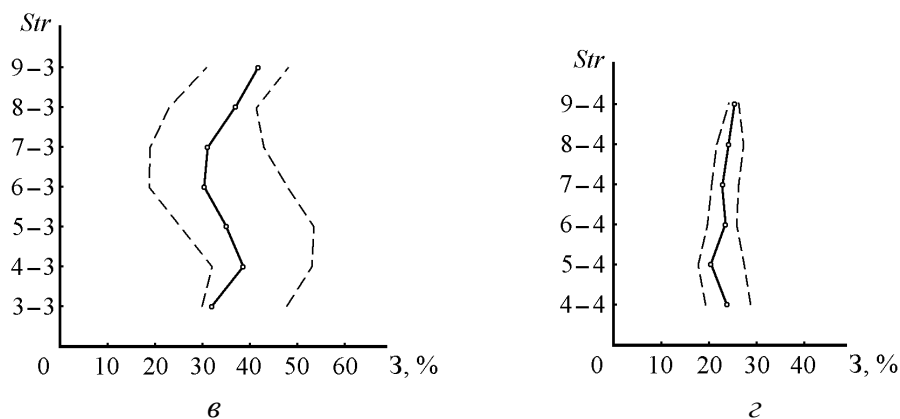


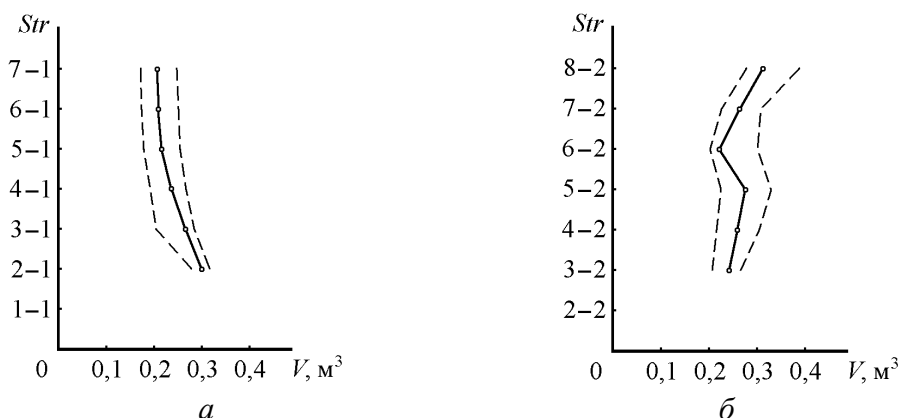
Рис. 5.6. Зависимость Str от почвенно-грунтовых условий (степени заболоченности лесного фонда):
 $a - n_1 \leftrightarrow 1$; $б - n_1 \leftrightarrow 2$; $в - n_1 \leftrightarrow 3$; $з - n_1 \leftrightarrow 4$

В отношении $Str\ n_1 \leftrightarrow 1$ наблюдается быстрое и устойчивое увеличение сложности структур при повышении степени заболоченности (3) лесного фонда от 5 до 70%.

Для $Str\ n_1 \leftrightarrow 2$ характерно возрастание сложности структуры при незначительном увеличении (10–15%) степени заболоченности лесного фонда (рис. 5.6, б).

Сложность Str типа $n_1 \leftrightarrow 3$ и $n_1 \leftrightarrow 4$ растет практически при неизменной степени заболоченности, что указывает на другие мотивы, имевшие место при создании ЛС, и позволит сделать их устойчивыми к влияниям внешних факторов.

На рис. 5.7 приводятся зависимости структуры от среднего объема ствола дерева в лесосырьевой базе. $Str\ n_1 \leftrightarrow 1$ (рис. 5.7, а) зависит от объема дерева, и с его уменьшением возрастает сложность структуры. Это говорит о стремлении обеспечить стабильное функционирование таких ЛС в древостоях с объемами, меньшими $0,3\text{ м}^3$.



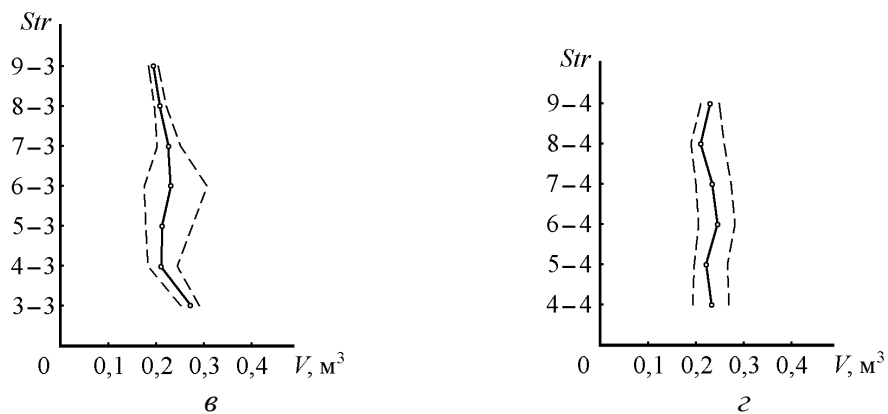


Рис. 5.7. Зависимость Str от объема ствола лесосырьевой базы:

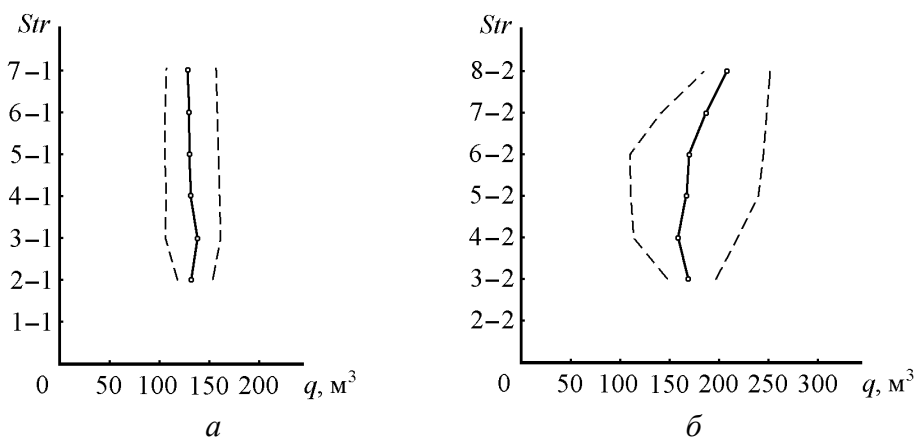
$a - n_1 \leftrightarrow 1$; $b - n_1 \leftrightarrow 2$; $v - n_1 \leftrightarrow 3$; $z - n_1 \leftrightarrow 4$

Для Str типа $n_1 \leftrightarrow 2$ (рис. 5.7, б) наблюдается уже увеличение сложности структуры при некотором возрастании объема ствола с 0,24 до 0,32 m^3 .

Тенденция усложнения структуры при уменьшении объема дерева имеется в зависимостях $Str = f(V)$ для структуры $n_1 \leftrightarrow 3$. Однако ее следует признать неустойчивой, так как на отдельных участках (0,22–0,25 m^3) она не прослеживается.

Рассматривая Str $n_1 \leftrightarrow 4$, констатируем, что в целом сложность структуры ЛС возрастает при неизменном (0,24 m^3) объеме дерева (рис. 5.7, з).

Стремление к высшим, с точки зрения сложности, структурам при постоянном запасе свидетельствует об отсутствии существенного влияния этого фактора (рис. 5.8) и преобладающем воздействии предыдущих факторов (Φ_1 – Φ_3).



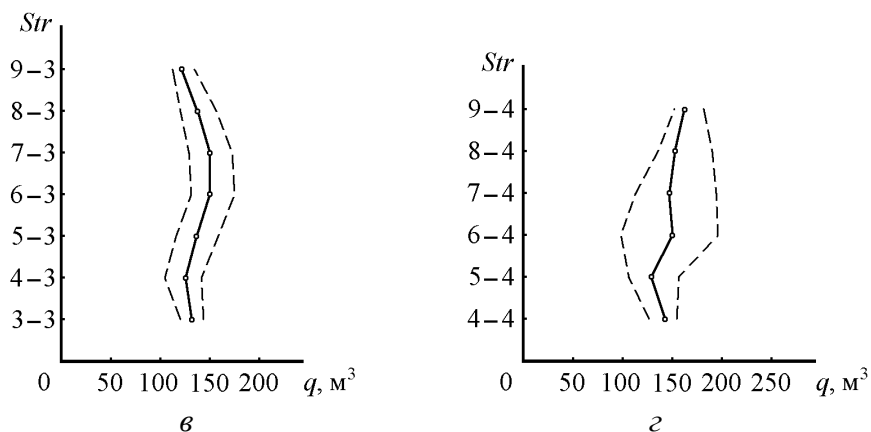
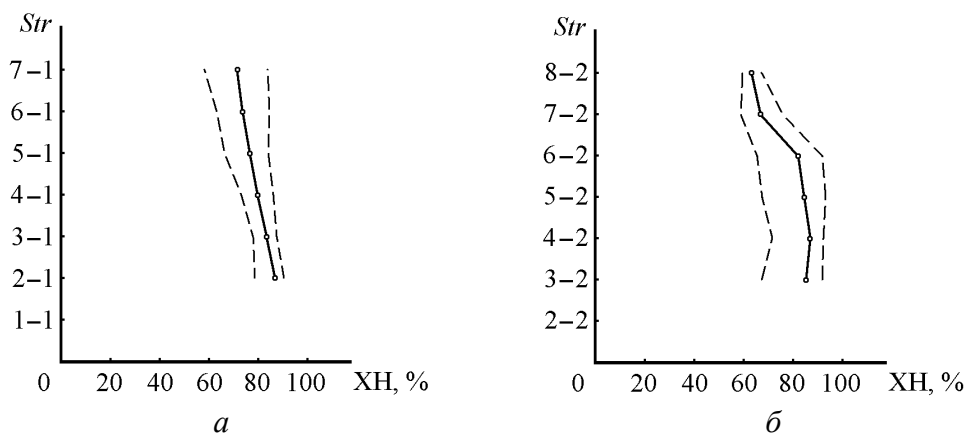


Рис. 5.8. Зависимость Str от запаса древесины на 1 га:

$a - n_1 \leftrightarrow 1$; $б - n_1 \leftrightarrow 2$; $в - n_1 \leftrightarrow 3$; $з - n_1 \leftrightarrow 4$

На рис. 5.9 даны зависимости структуры от процента хвойных насаждений (ХН), которые в определенной мере отражают зависимость от породного состава лесосырьевой базы ЛС. Для всех типов структур $n_1 \leftrightarrow n_2$ в пределах встречаемых n_1 и n_2 наблюдается возрастание сложности Str с уменьшением доли хвойных пород в эксплуатируемой лесосырьевой базе. Особенно это показательно для структур типа $n_1 \leftrightarrow 3$, $n_1 \leftrightarrow 4$, поскольку у них рост сложности идет при незначительном увеличении мощности ЛС (рис. 5.3, 5.4).



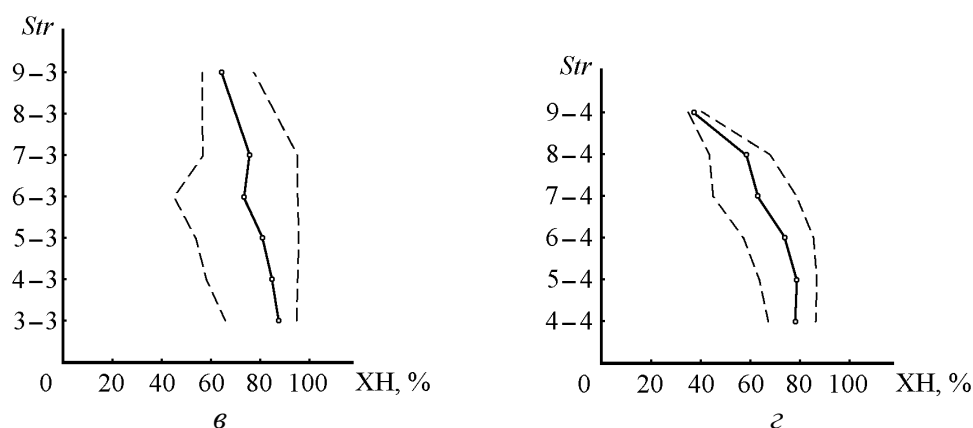


Рис. 5.9. Зависимость Str от породного состава (хвойных насаждений):
 $a - n_1 \leftrightarrow 1$; $б - n_1 \leftrightarrow 2$; $в - n_1 \leftrightarrow 3$; $г - n_1 \leftrightarrow 4$

5.5. Условия функционирования лесопромышленных систем Урала и Сибири

Исследованиями были охвачены 47 лесопромышленных предприятий Пермской, Свердловской, Иркутской областей, Хабаровского края. Общая годовая программа данных предприятий составляет 18,05 млн. м³. Условия, в которых функционируют исследуемые ЛС, рассмотрены в табл. 5.7. Согласно приведенным параметрам, предприятия достаточно близки по природно-производственным условиям, чтобы сопоставлять их структуры.

На лесные склады ЛС поступают в основной массе хлысты. Все склады, характеристики которых приведены в табл. 5.8, 5.9, являются сухопутными.

Таблица 5.7

Характеристика условий работы ЛС Урала и Сибири

Лесопромышл енные объединения	Состав насаждений, %		Объем хлыста, м ³	Запас на 1 га, м ³	Заболоче нность, %	Рельеф местности
	хвойные	лист- венные				
Пермская область	60–90	10–40	0,18–0,47	140–247	4–70	Равнинный – 95%; холмистый – 4%; горный – 1%
Свердловская область	20–90	10–80	0,28–0,49	180–290	0–50	Равнинный – 87%; холмистый – 11%; горный – 2%
Красноярский край	60–100	0–40	0,37–0,96	123–230	0–60	Равнинный – 79%; холмистый – 15%; горный – 6%
Иркутская область	60–100	0–40	0,4–1,1	172–250	0–15	Равнинный – 73%; холмистый – 20%;

						горный – 7%
Хабаровский край	70–100	0–40	0,40–0,76	80–180	0–70	Равнинный – 77%; холмистый – 21%; горный – 12%

Таблица 5.8

Распределение лесных складов по проектируемому сроку действия, %

Лесопромышленные объединения	Период, лет				
	<5	5–10	10–15	15–20	>20
Пермская область	10,0	32,5	25,0	22,5	10,0
Свердловская область	13,9	27,8	19,4	13,7	25,2
Красноярский край	9,4	12,5	25,0	21,8	31,3
Иркутская область	9,8	19,5	26,8	22,0	21,9
Хабаровский край	15,7	13,8	15,2	15,8	39,5

Таблица 5.9

Распределение лесных складов по грузообороту для ЛС Урала и Сибири, %

Лесопромышленные объединения	Грузооборот, тыс. м ³								
	до 50	51–100	101–150	151–200	201–250	251–300	301–350	351–400	>400
Пермская область	15,0	25,4	24,0	23,6	7,0	2,5	2,5	–	–
Свердловская область	2,8	18,1	31,9	18,0	15,3	4,1	2,8	2,2	4,8
Красноярский край	–	6,3	25,0	40,6	15,0	6,2	8,2	4,3	–
Иркутская область	–	3,9	17,6	41,2	9,8	5,9	5,8	4,0	11,8

5.6. Типы структур лесопромышленных систем и их распределения для Урала и Сибири

Все существующие структуры ЛС рассматриваемого региона систематизированы в табл. 5.10. Наиболее широко представлены $Str\ 3 \leftrightarrow 1$, которые составляют 15,4% от общего числа исследуемых структур. Всего в ЛС Урала и Сибири функционирует 22 вида структур, что существенно меньше, чем для ЛС европейской части РФ и РБ.

Таблица 5.10

Распределение структур ЛС Урала и Сибири

$Str\ n_1 \leftrightarrow 1$	1–1	2–1	3–1	4–1	5–1	6–1	7–1
$p, \%$	4,3	4,5	15,4	2,5	6,6	4,0	1,9
$Str\ n_1 \leftrightarrow 2$	2–2	3–2	4–2	5–2	6–2	–	–
$p, \%$	8,7	8,7	4,5	6,2	3,9	–	–
$Str\ n_1 \leftrightarrow 3$	3–3	4–3	5–3	6–3	7–3	8–3	–
$p, \%$	–	4,7	4,3	2,3	1,0	3,4	–
$Str\ n_1 \leftrightarrow 4$	4–4	5–4	6–4	7–4	–	–	–
$p, \%$	–	2,2	2,1	2,0	–	–	–

$Str\ n_1 \leftrightarrow 5$	5–5	6–5	–	–	–	–	–
$p, \%$	4,6	2,1	–	–	–	–	–

Доминирующим типом Str является $n_1 \leftrightarrow 1$, т. е. ЛС с одним лесным складом (39,2%). На $Str\ n_2 \leftrightarrow 2$ приходится 32,0% всех ЛС. В рассматриваемом регионе нет ЛС со структурами $n_1 \leftrightarrow 6$, $n_1 \leftrightarrow 7$, $n_1 \leftrightarrow 8$, в то время как в европейской части они имеются и составляют 4,0%.

Представляет интерес распределение Str внутри каждого класса (табл. 5.11).

Таблица 5.11

Распределение структур внутри классов для ЛС Урала и Сибири

Str	$1 \leftrightarrow 1$	$2 \leftrightarrow 1$	$3 \leftrightarrow 1$	$4 \leftrightarrow 1$	$5 \leftrightarrow 1$	$6 \leftrightarrow 1$	$7 \leftrightarrow 1$
$p, \%$	10,6	11,7	40,2	6,5	17,3	10,0	4,7
Str	$2 \leftrightarrow 2$	$3 \leftrightarrow 2$	$4 \leftrightarrow 2$	$5 \leftrightarrow 2$	$6 \leftrightarrow 2$	–	–
$p, \%$	37,2	27,2	14,0	20,3	11,3	–	–
Str	$3 \leftrightarrow 3$	$4 \leftrightarrow 3$	$5 \leftrightarrow 3$	$6 \leftrightarrow 3$	$7 \leftrightarrow 3$	$8 \leftrightarrow 3$	–
$p, \%$	–	29,3	28,5	14,2	7,1	20,1	–
Str	$4 \leftrightarrow 4$	$5 \leftrightarrow 4$	$6 \leftrightarrow 4$	$7 \leftrightarrow 4$	–	–	–
$p, \%$	–	34,0	33,7	32,3	–	–	–
Str	$5 \leftrightarrow 5$	$6 \leftrightarrow 5$	–	–	–	–	–
$p, \%$	69,2	30,8	–	–	–	–	–

В $Str\ n_1 \leftrightarrow 1$ 40,2% всех структур приходится на $Str\ 3 \leftrightarrow 1$, число же других в 2–3 раза меньше.

Более равномерно распределены $Str\ n_1 \leftrightarrow 2$. Больше половины ЛС типа $n_1 \leftrightarrow 3$ имеют $Str\ 4 \leftrightarrow 3$, $5 \leftrightarrow 3$.

Распределения, полученные внутри $Str\ n_1 \leftrightarrow 4$ и $n_1 \leftrightarrow 5$, лишь ориентировочно могут служить для анализа встречаемости таких структур, так как число ЛС с такими структурами мало.

5.7. Зависимость структур лесопромышленных систем

Республики Беларусь

от основных природно-производственных факторов

Сложность структур ЛС возрастает с увеличением мощности последних. Эта общая закономерность конкретизируется применительно к каждому типу структур. Так, согласно полученным зависимостям (рис. 5.10), для $Str\ n_1 \leftrightarrow 1$ характерен пропорциональный рост структур при увеличении мощности ЛС в пределах 160–410 тыс. м³ по средним значениям и 100–550 тыс. м³ по абсолютным.

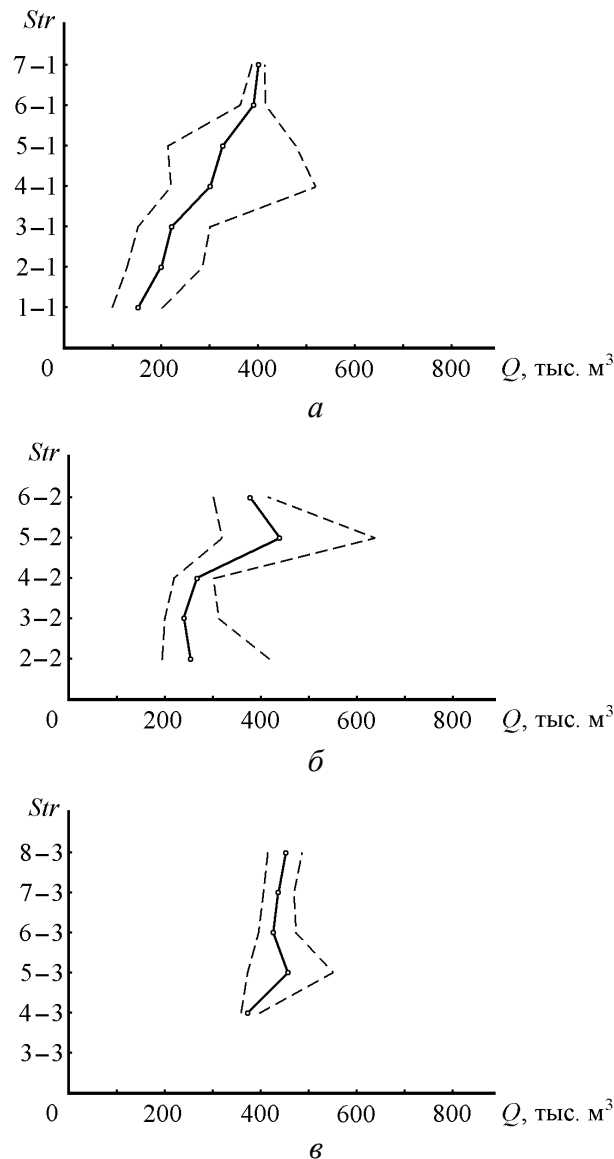


Рис. 5.10. Зависимости Str от ее мощности:

a – Витебский регион; $б$ – Минский регион; $в$ – Гомельский регион

Менее явно тенденция возрастания сложности структур с увеличением мощности ЛС проявляется в $Str\ n_1 \leftrightarrow 2$. При переходе от $Str\ 2 \leftrightarrow 2$ к $4 \leftrightarrow 2$ нет ожидаемого повышения мощности ЛС и только при переходе от $Str\ 4 \leftrightarrow 2$ к $6 \leftrightarrow 2$ рост сложности структур происходит с увеличением мощности ЛС. Средний диапазон мощностей, в которых располагается зависимость $Str = f(Q_1)$, составляет 250–430 тыс. м³.

Пропорциональное усложнение $Str\ n_1 \leftrightarrow 3$ имеет место при росте мощности ЛС в диапазоне 380–465 тыс. м³. Для данного типа структур характерен узкий диапазон мощностей ЛС по структурным уровням

4 ↔ 3, 6 ↔ 3, 7 ↔ 3, 8 ↔ 3, не превышающий 70 тыс. м³.

Влияние степени заболоченности лесного фонда (З) на изменение структуры ЛС приведено на рис. 5.11.

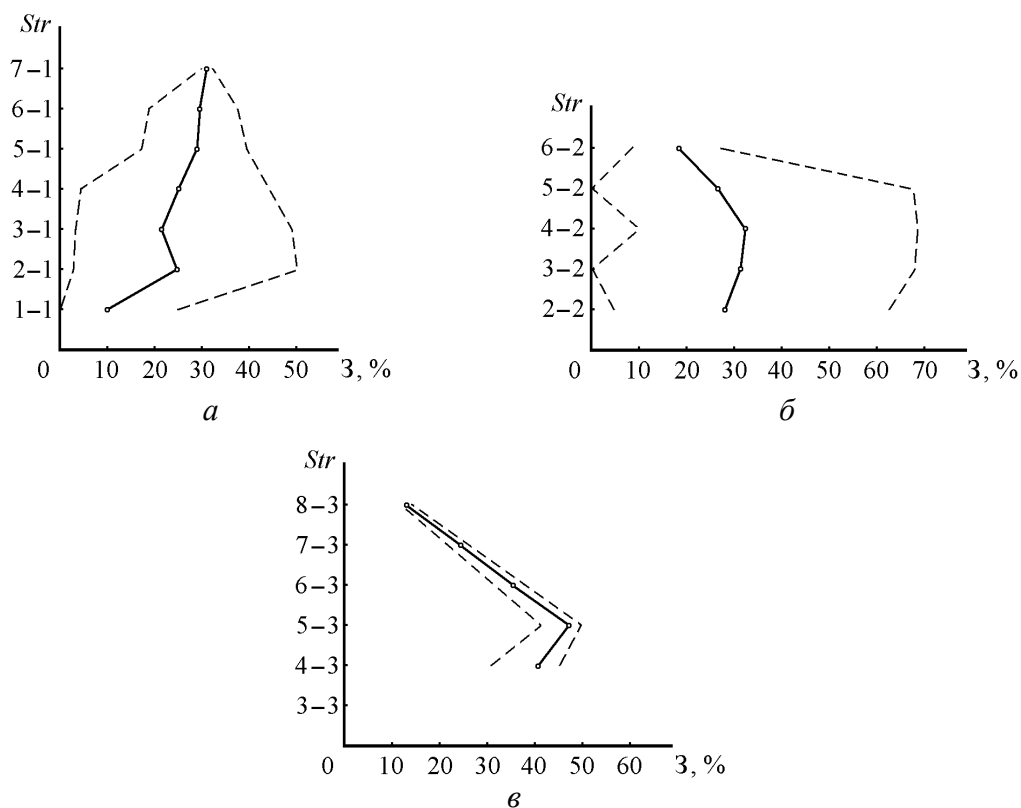


Рис. 5.11. Зависимости *Str* от степени заболоченности лесного фонда:
а – Витебский регион; б – Минский регион; в – Гомельский регион

В *Str* $n_1 \leftrightarrow 1$ есть тенденция усложнения структур с увеличением степени заболоченности. Однако в *Str* $n_1 \leftrightarrow 2$ и $n_1 \leftrightarrow 3$ сложность структуры возрастает при неизменной либо уменьшающейся степени заболоченности лесного фонда. В целом следует констатировать отсутствие устойчивой зависимости сложности структуры от степени заболоченности лесного фонда.

Уменьшение объема ствола дерева в лесосырьевой базе приводит к созданию более сложных в структурном отношении систем. Наиболее явно эта зависимость прослеживается для *Str* типа $n_1 \leftrightarrow 1$ и $n_1 \leftrightarrow 3$. Усложнение структур идет в диапазонах объема, равных соответственно 0,34–0,62 и 0,35–0,54 м³, согласно средним значениям \bar{V} (рис. 5.12).

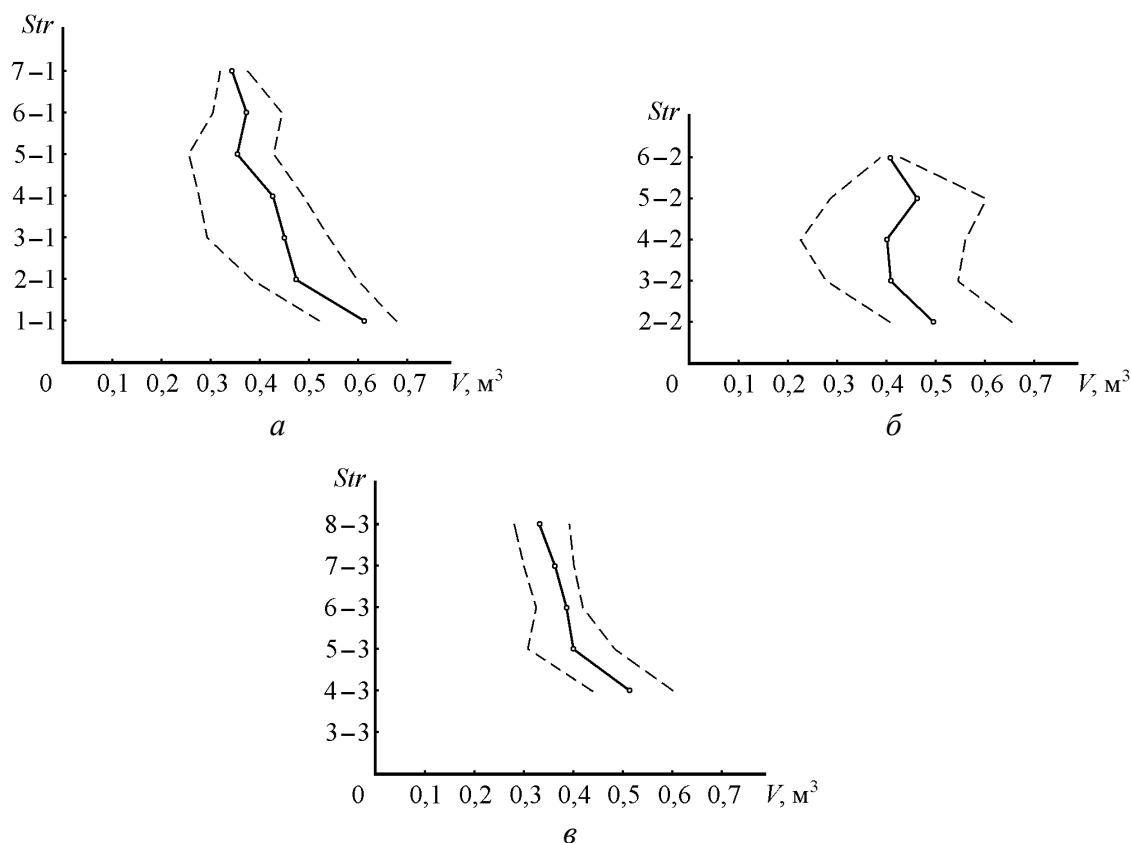


Рис. 5.12. Зависимости Str от среднего объема ствола дерева:
 a – Витебский регион; $б$ – Минский регион; $в$ – Гомельский регион

Меньшее влияние со стороны V оказывается на Str типа $n_1 \leftrightarrow 2$.

О влиянии запаса древесины на 1 га на структуру можно говорить в разрезе отдельных типов структур. Для Str $n_1 \leftrightarrow 1$ имеет место усложнение структур ЛС с уменьшением среднего запаса с 215 до 140 $м^3$ на 1 га (рис. 5.13).

В соответствии с графиком для Str $n_1 \leftrightarrow 2$ отмечается отсутствие влияния q на изменение структур ЛС в диапазоне величин запасов 95–230 $м^3$ на 1 га. Для Str $n_1 \leftrightarrow 3$ наблюдается усложнение структур ЛС при увеличении величины запаса древостоев. По средним значениям это имеет место в диапазоне 145–215 $м^3$, а по абсолютным – в диапазоне 110–250 $м^3$ на 1 га.

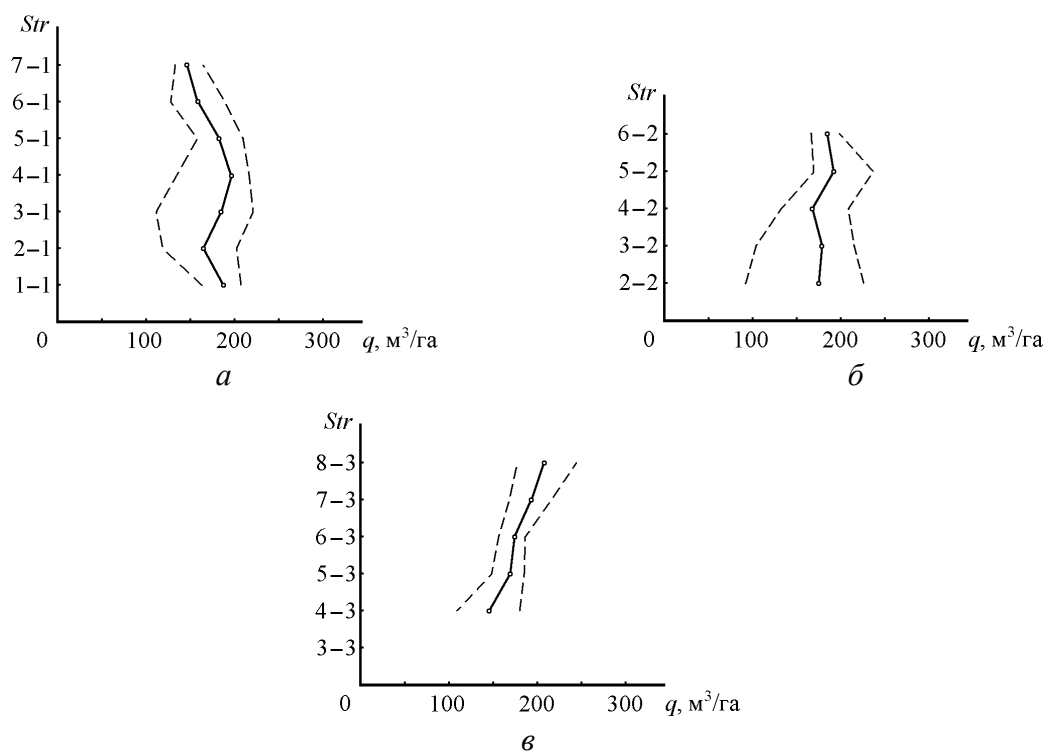


Рис. 5.13. Зависимости Str от запаса насаждений на 1 га:
 a – Витебский регион; $б$ – Минский регион; $в$ – Гомельский регион

Процент хвойных насаждений оказывает влияние на технологическую структуру ЛС. Уменьшение доли хвойных пород в общем объеме древесины приводит к росту сложности структуры ЛС (рис. 5.14).

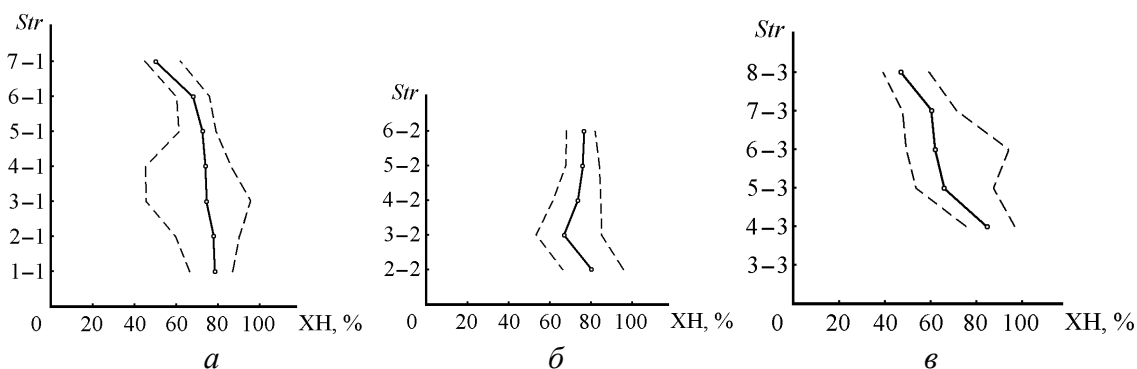


Рис. 5.14. Зависимости Str от процента хвойных насаждений в лесосырьевой базе:
 a – Витебский регион; $б$ – Минский регион; $в$ – Гомельский регион

В Str $n_1 \leftrightarrow 3$ этот рост идет в диапазоне 57–80% хвойных насаждений по средним величинам в горизонтальных разрезах структур, а по абсолютным – в диапазоне 44–100%. Подобное же наблюдается и у Str типа $n_1 \leftrightarrow 2$. В Str $n_1 \leftrightarrow 3$ это влияние

проявляется особенно отчетливо. Рост сложности структур происходит при уменьшении процента хвойных насаждений с 84 до 45% по средним значениям и с 100 до 41% – по абсолютным.

Основные выводы по результатам исследований представляются следующими:

Для лесопромышленных систем европейской части РФ и РБ характерно значительное разнообразие технологических структур, всего их выявлено 30. Самыми распространенными являются Str типа $3 \leftrightarrow 1$ (12,2%), $6 \leftrightarrow 3$ (8,2%). Встречаемость каждой из остальных 28 структур не превышает 2,0% от общего их числа.

Возрастание сложности структур ЛС пропорционально увеличению мощности для Str $n_1 \leftrightarrow 1$, $n_1 \leftrightarrow 2$, $n_1 \leftrightarrow 3$, $n_1 \leftrightarrow 4$ и $n_1 \leftrightarrow 5$. В Str $n_1 \leftrightarrow 3$ усложнение осуществляется практически при неизменной мощности ЛС. Все типы структур имеют значительные диапазоны мощностей (до 600 тыс. м³), что свидетельствует о нерациональном построении отдельных ЛС.

Заболоченность лесного фонда оказывает влияние на Str $n_1 \leftrightarrow 1$ и оно уменьшается с усложнением Str до $n_1 \leftrightarrow 4$.

Str $n_1 \leftrightarrow 1$ усложняется с уменьшением объема дерева в лесном фонде. В области высших структур $n_1 \leftrightarrow 3$, $n_1 \leftrightarrow 4$ отсутствует какое-либо заметное влияние объема ствола на сложность структур.

Все типы структур ЛС не чувствительны к такому фактору, как запас деревьев на 1 га.

Сложность структур всех имеющихся типов возрастает с уменьшением доли хвойных насаждений.

Для ЛС, функционирующих в районах Урала, Сибири, характерно меньшее видовое разнообразие. Наиболее распространены ЛС со Str $n_1 \leftrightarrow 1$ (39,2%), $n_1 \leftrightarrow 2$ (32,0%) Отсутствуют сильно разветвленные структуры $n_1 \leftrightarrow 6$, $n_1 \leftrightarrow 7$, $n_1 \leftrightarrow 8$ и т. д.

Увеличение мощности ЛС сопровождается усложнением структур. Однако пропорциональная зависимость между указанными характеристиками имеет место лишь для Str $n_1 \leftrightarrow 1$. Разброс мощностей для однотипных структур значительно меньше, чем у ЛС европейской части РФ и РБ и составляет до 70 тыс. м³.

Выявлены тенденция усложнения структур ЛС с увеличением степени заболоченности лесного фонда для Str $n_1 \leftrightarrow 1$ и неустойчивое

усложнение структур ЛС со снижением степени заболоченности лесного фонда для $Str\ n_1 \leftrightarrow 2$ и $n_1 \leftrightarrow 3$.

Все типы структур имеют свойство к усложнению с уменьшением объема ствола в лесном фонде.

Сокращение запаса древостоев на 1 га приводит к повышению сложности $Str\ n_1 \leftrightarrow 1$ и снижению сложности $Str\ n_1 \leftrightarrow 3$.

Уменьшение доли насаждений хвойных пород заставляет стремиться структуры ЛС к более высшим. Наиболее сильно эта закономерность проявляется у $Str\ n_1 \leftrightarrow 3$.

6. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ

6.1. Расчет работоспособности лесопромышленных систем видов I и II

Основы расчета функционирования ЛС, изложенные в разделе 3 позволяют с помощью аналитических моделей рассчитывать основные характеристики ЛС.

Учитывая, однако, что ЛС имеет не только граничные состояния по фазам работ, но и состояния, когда участки внутри фаз в свою очередь пребывают в различных состояниях, расчет ЛС по аналитическим моделям становится трудоемким из-за большой вычислительной работы.

Представляется удобным вести расчет ЛС с использованием автоматизированной системы расчета, алгоритмы которой представлены системой формул (2.3–2.20), (2.34–2.42), (2.43–2.50).

Алгоритм расчета состояний ЛС видов I и II представлен на рис. 6.1.

Определение параметров $P_I, P_{II}, \dots, P_{IX}$ ведется по формулам (2.3–2.20). Установление характеристик $P_{II}^1, P_{II}^2, \dots, P_{II}^{n_1-1}$ в блоке 9 осуществляется из следующей системы формул:

$$\begin{aligned} P_{II}^1 &= \prod_{l \in M_{лн}} (1 - \omega_{лl}) \cdot \prod_{k \in M_{тр}} d_{тk} \cdot \prod_{k \in M_{тр}} \omega_{нк}, \\ P_{II}^2 &= (1 - \omega_{лl})(1 - \omega_{лl}) \prod_{k \in M_{лр}} \omega_{лк} \cdot \prod_{k \in M_{тр}} d_{тk} \cdot \prod_{k \in M_{нр}} \omega_{нк}, \\ &\quad \text{N} \\ P_{II}^{n_1-1} &= \prod_{l \in M_{лн}} (1 - \omega_{лl}) \cdot \prod_{l \in M_{лр}} \omega_{лк} \cdot \prod_{l \in M_{тр}} d_{тk} \cdot \prod_{l \in M_{нр}} \omega_{нк}, \end{aligned}$$

где $l = 1, 2, 3, \dots, n_1 - 1$.

Определение параметров $P_{III}^1, P_{III}^2, \dots, P_{III}^{n_1-1}$ в блоке 10 ведется как

$$\begin{aligned} P_{III}^1 &= \prod_{k \in M_{лр}} \omega_{лк} \cdot \prod_{l \in M_{тн}} (1 - d_{тl}) \cdot \prod_{k \in M_{тр}} d_{тk} \cdot \prod_{k \in M_{нр}} \omega_{нк}, \\ P_{III}^2 &= \prod_{k \in M_{лр}} \omega_{лк} (1 - d_{тl})(1 - d_{тl}) \cdot \prod_{k \in M_{тр}} d_{тk} \cdot \prod_{k \in M_{нр}} \omega_{нк}, \\ &\quad \text{N} \\ P_{III}^{n_1-1} &= \prod_{k \in M_{лр}} \omega_{лк} \cdot \prod_{l \in M_{тн}} (1 - d_{тl}) \cdot \prod_{k \in M_{тр}} d_{тk} \cdot \prod_{k \in M_{нр}} \omega_{нк}, \end{aligned}$$

где $l = 1, 2, 3, \dots, n_1 - 1$.

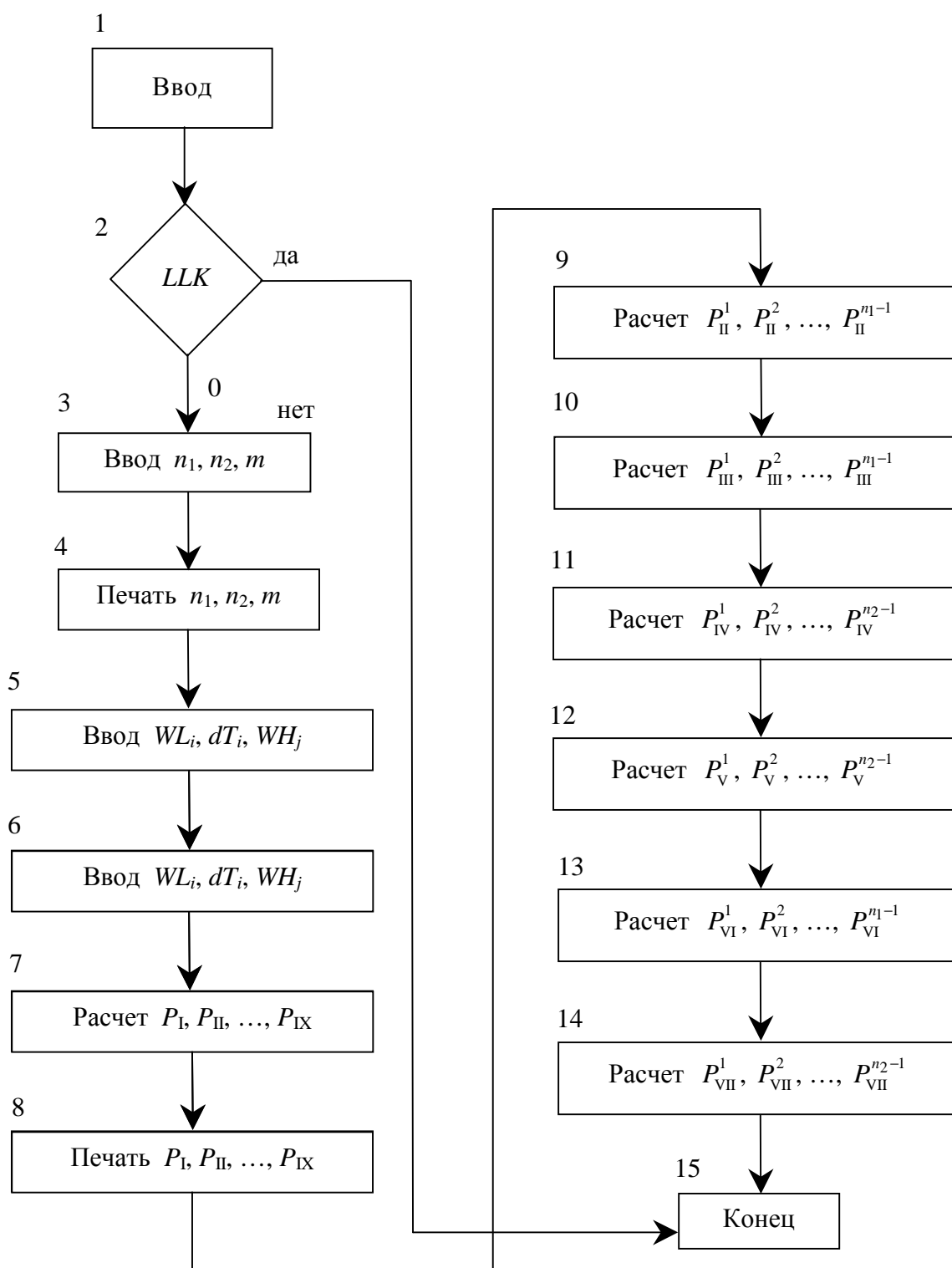


Рис. 6.1. Блок-схема расчета ЛС видов I и II

Установление характеристик $P_{IV}^1, P_{IV}^2, \dots, P_{IV}^{n_2-1}$ осуществляется в блоке 2 по следующим формулам:

$$P_{IV}^1 = \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{лк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{тк}} \cdot (1 - \omega_{\text{hl}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}},$$

$$P_{IV}^2 = \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{лк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{тк}} (1 - \omega_{\text{hl}}) (1 - \omega_{\text{hl}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}},$$

М

$$P_{IV}^{n_2-1} = \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{лк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{тк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{hl}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}},$$

где $l = 1, 2, 3, \dots, n_2 - 1$.

Расчет параметров $P_V^1, P_V^2, \dots, P_V^{n_1-1}$ в блоке 12 ведется с использованием системы уравнений вида

$$P_V^1 = \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{hl}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{tl}}) \cdot \omega_{\text{лк}} \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{лl}}),$$

$$P_V^2 = \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{hl}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{tl}}) \cdot \omega_{\text{лк}} \omega_{\text{лк}} \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{лl}}),$$

М

$$P_V^{n_1-1} = \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{hl}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{tl}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{лк}} (1 - \omega_{\text{лl}}),$$

где $k = 1, 2, 3, \dots, n_1 - 1$.

Определение характеристик $P_{VI}^1, P_{VI}^2, \dots, P_{VI}^{n_1-1}$ в блоке 13 проводится по формулам

$$P_{VI}^1 = \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{лl}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - d_{\text{hl}}) \cdot d_{\text{тк}} \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{tl}}),$$

$$P_{VI}^2 = \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{лl}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - d_{\text{hl}}) \cdot d_{\text{тк}} d_{\text{тк}} \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{tl}}),$$

М

$$P_{VI}^{n_1-1} = \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{лl}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - d_{\text{hl}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{тк}} (1 - d_{\text{tl}}),$$

где $k = 1, 2, 3, \dots, n_1 - 1$.

Установление параметров $P_{VII}^1, P_{VII}^2, \dots, P_{VII}^{n_2-1}$ в блоке 14 осуществляется из следующей системы формул:

$$P_{VII}^1 = \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{лl}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{tl}}) \cdot \omega_{\text{нк}} \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{hl}}),$$

$$P_{VII}^2 = \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{лl}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{tl}}) \cdot \omega_{\text{нк}} \omega_{\text{нк}} \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{hl}}),$$

М

$$P_{\text{VII}}^{n_2-1} = \prod_{l \in M_{\text{ЛН}}} (1 - \omega_{\text{Л}l}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{ТН}}} (1 - d_{\text{Т}l}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{НР}}} \omega_{\text{Н}k} (1 - \omega_{\text{Н}l}),$$

где $k = 1, 2, 3, \dots, n_2 - 1$.

6.2. Расчет работоспособности лесопромышленных систем вида III

Алгоритм расчета ЛС данного вида базируется на формулах (2.34–2.42). Блок-схема расчета приведена на рис. 6.2.

Определение параметров $P_{\text{II}}^1, P_{\text{II}}^2, \dots, P_{\text{II}}^{n_1-1}$ в блоке 8 проводится по формулам

$$\begin{aligned} P_{\text{II}}^1 &= (1 - \omega_{\text{Л}l}) \prod_{k \in M_{\text{ЛР}}} \omega_{\text{Л}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{ТР}}} d_{\text{Т}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{НР}}} \omega_{\text{Н}k}, \\ P_{\text{II}}^2 &= (1 - \omega_{\text{Л}l})(1 - \omega_{\text{Л}l}) \prod_{k \in M_{\text{ЛР}}} \omega_{\text{Л}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{ТР}}} d_{\text{Т}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{НР}}} \omega_{\text{Н}k}, \\ &\quad \text{N} \\ P_{\text{II}}^{n_1-1} &= \prod_{l \in M_{\text{ЛН}}} (1 - \omega_{\text{Л}l}) \omega_{\text{Л}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{ТР}}} d_{\text{Т}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{НР}}} \omega_{\text{Н}k}, \end{aligned}$$

где $k = 1, 2, 3, \dots, n_1 - 1$ при определении произведения по $\omega_{\text{Н}k}$.

Установление параметров $P_{\text{III}}^1, P_{\text{III}}^2, \dots, P_{\text{III}}^{m-1}$ в блоке 9 осуществляется с использованием системы уравнений вида

$$\begin{aligned} P_{\text{III}}^1 &= \prod_{k \in M_{\text{ЛР}}} \omega_{\text{Л}k} \cdot (1 - d_{\text{Т}l}) \prod_{k \in M_{\text{ТР}}} d_{\text{Т}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{НР}}} \omega_{\text{Н}k}, \\ P_{\text{III}}^2 &= \prod_{k \in M_{\text{ЛР}}} \omega_{\text{Л}k} \cdot (1 - d_{\text{Т}l})(1 - d_{\text{Т}l}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{ТР}}} d_{\text{Т}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{НР}}} \omega_{\text{Н}k}, \\ &\quad \text{N} \\ P_{\text{III}}^{m-1} &= \prod_{k \in M_{\text{ЛР}}} \omega_{\text{Л}k} \cdot \prod_{l \in M_{\text{ТН}}} (1 - d_{\text{Т}l}) d_{\text{Т}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{НР}}} \omega_{\text{Н}k}, \end{aligned}$$

где $l = 1, 2, 3, \dots, m - 1$.

Расчет характеристик $P_{\text{V}}^1, P_{\text{V}}^2, \dots, P_{\text{V}}^{n_2-1}$ в блоке 10 ведется по формулам

$$\begin{aligned} P_{\text{V}}^1 &= \prod_{k \in M_{\text{ЛР}}} \omega_{\text{Л}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{ТР}}} d_{\text{Т}k} (1 - \omega_{\text{Н}l}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{НР}}} \omega_{\text{Н}k}, \\ P_{\text{V}}^2 &= \prod_{k \in M_{\text{ЛР}}} \omega_{\text{Л}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{ТР}}} d_{\text{Т}k} (1 - \omega_{\text{Н}l})(1 - \omega_{\text{Н}l}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{НР}}} \omega_{\text{Н}k}, \\ &\quad \text{N} \\ P_{\text{V}}^{n_2-1} &= \prod_{k \in M_{\text{ЛР}}} \omega_{\text{Л}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{ТР}}} d_{\text{Т}k} \cdot \prod_{l \in M_{\text{НН}}} (1 - \omega_{\text{Н}l}) \omega_{\text{Н}k}, \end{aligned}$$

где $l = 1, 2, 3, \dots, n_2 - 1$.

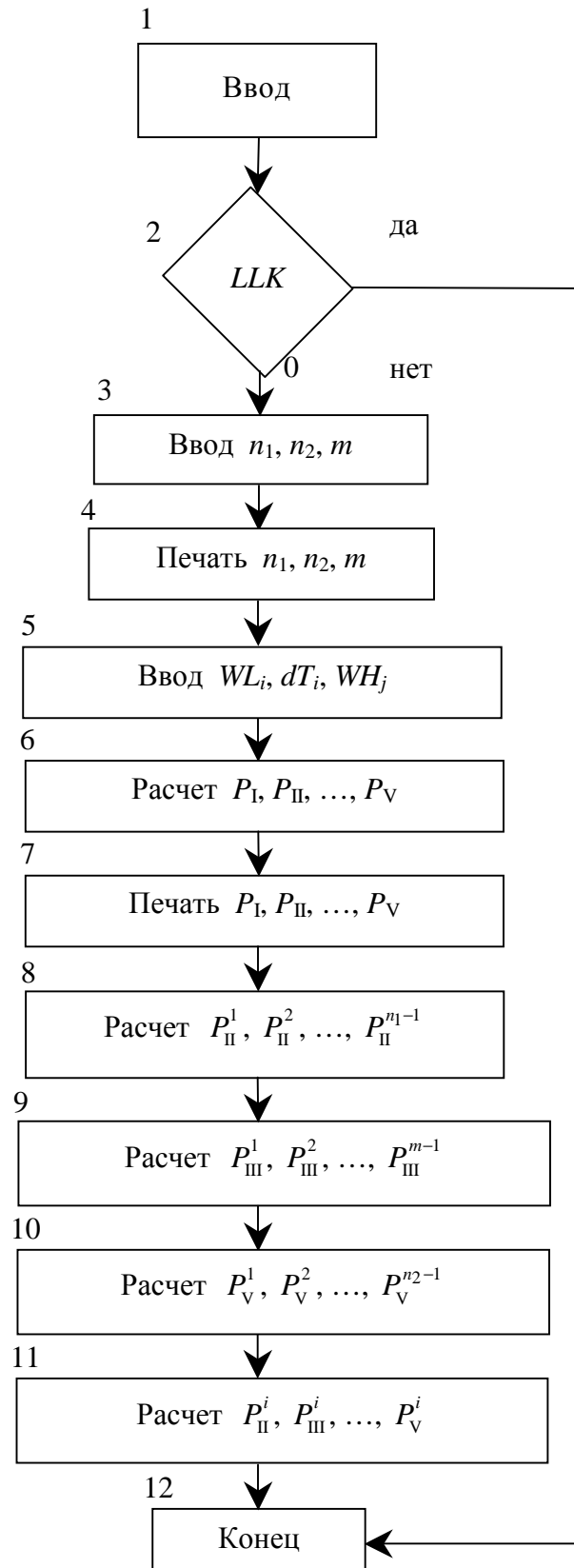


Рис. 6.2. Блок-схема расчета ЛС вида III

6.3. Расчет работоспособности лесопромышленных систем вида IV

Алгоритм расчета ЛС рассматриваемого вида основывается на использовании зависимостей (2.43–2.50). Блок-схема расчета приведена на рис. 6.3.

Определение параметров $P_I, P_{II}, \dots, P_{XV}$ в блоке 7 осуществляется по формулам

$$\begin{aligned}
 P_I &= \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{лк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{тк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}}, \\
 P_{II} &= \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{лл}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{тк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}}, \\
 P_{III} &= \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{лк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{тл}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}}, \\
 P_{IV} &= \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{лк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{тк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{пл}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}}, \\
 P_V &= \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{лк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{тк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{пл}}), \\
 P_{VI} &= \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{лк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{тл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{пл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{пл}}), \\
 P_{VII} &= \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{лл}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{тк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{пл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{пл}}), \\
 P_{VIII} &= \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{лл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{тл}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{пл}}), \\
 P_{IX} &= \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{лл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{тл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{пл}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}}, \\
 P_X &= \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{лк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{тк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{пл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{пл}}), \\
 P_{XI} &= \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{лл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{тл}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}}, \\
 P_{XII} &= \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{лк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{тл}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{пл}}), \\
 P_{XIII} &= \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{лк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{тл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{пл}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}}, \\
 P_{XIV} &= \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{лл}}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{тк}} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{нк}} \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{пл}}), \\
 P_{XV} &= \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{лл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{тл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{пл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{нн}}} (1 - \omega_{\text{пл}}).
 \end{aligned}$$

Значения, которые принимают k и l , даны в таблице.

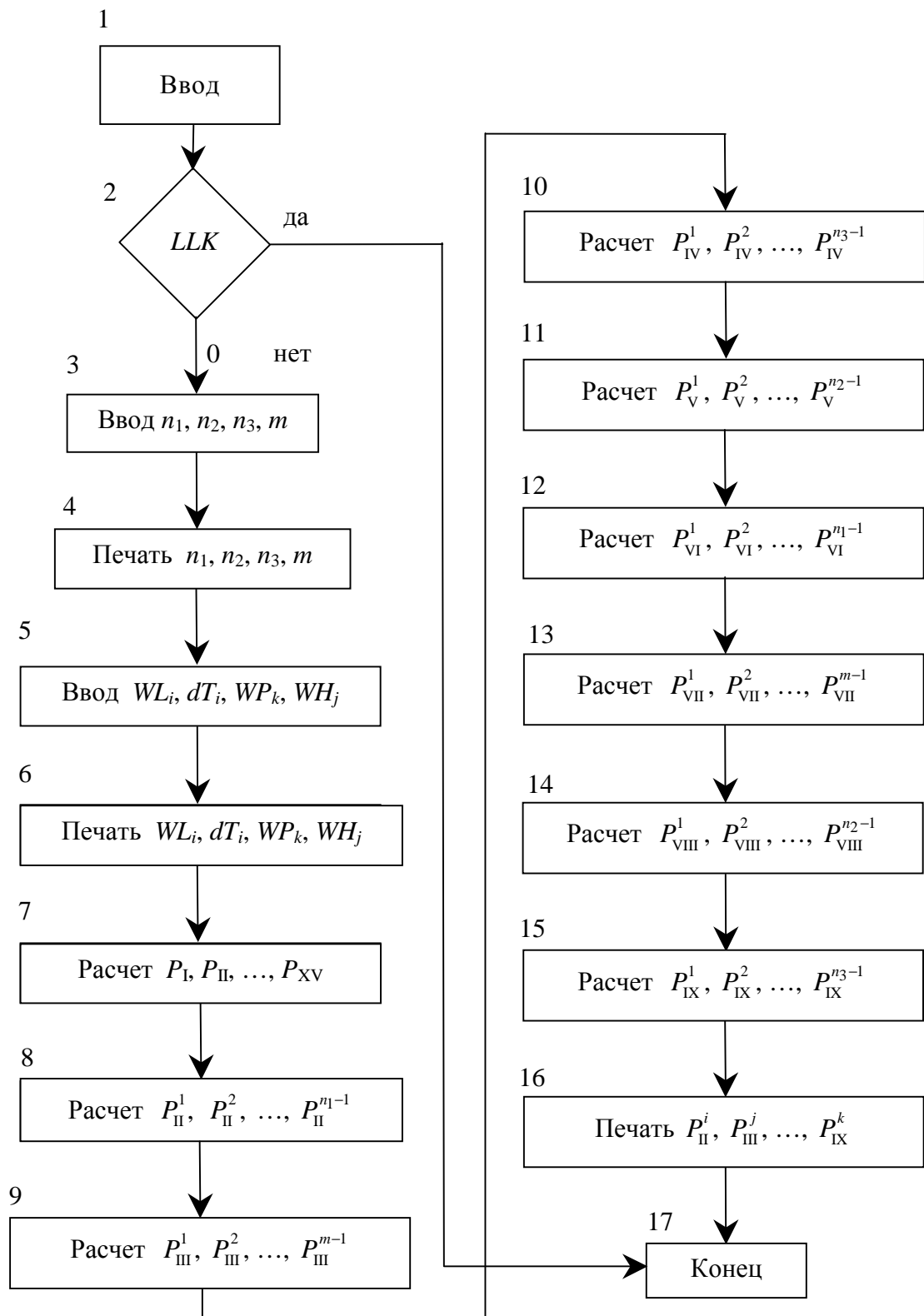


Рис. 6.3. Блок-схема расчета ЛС вида IV

Значения k и l для определения P_I-P_{XV}

Характеристики ЛС	Параметры k/l			
	$\omega_{\text{л}}$	$d_{\text{т}}$	$\omega_{\text{п}}$	$\omega_{\text{н}}$
P_I	$n_1 / -$	$m / -$	$n_3 / -$	$n_2 / -$
P_{II}	$- / n_1$	$m / -$	$n_3 / -$	$n_2 / -$
P_{III}	$n_1 / -$	$- / m$	$n_3 / -$	$n_2 / -$
P_{IV}	$n_1 / -$	$m / -$	$- / n_3$	$n_2 / -$
P_V	$n_1 / -$	$m / -$	$n_3 / -$	$- / n_2$
P_{VI}	$n_1 / -$	$- / m$	$- / n_3$	$- / n_2$
P_{VII}	$- / n_1$	$m / -$	$- / n_3$	$- / n_2$
P_{VIII}	$- / n_1$	$- / m$	$n_3 / -$	$- / n_2$
P_{IX}	$- / n_1$	$- / m$	$- / n_3$	$n_2 / -$
P_X	$n_1 / -$	$m / -$	$- / n_3$	$- / n_2$
P_{XI}	$- / n_1$	$- / m$	$n_3 / -$	$n_2 / -$
P_{XII}	$n_1 / -$	$- / m$	$n_3 / -$	$- / n_2$
P_{XIII}	$n_1 / -$	$- / m$	$- / n_3$	$n_2 / -$
P_{XIV}	$- / n_1$	$m / -$	$n_3 / -$	$- / n_2$
P_{XV}	$- / n_1$	$- / m$	$- / n_3$	$- / n_2$

Установление оценок $P_{II}^1, P_{II}^2, \dots, P_{II}^{n_1-1}$ ведется в блоке 8 по системе формул

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{II}^1 = (1 - \omega_{\text{л}l}) \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{л}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{т}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{пр}}} \omega_{\text{п}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{н}k}, \\ P_{II}^2 = (1 - \omega_{\text{л}l})(1 - \omega_{\text{л}l}) \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{л}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{т}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{пр}}} \omega_{\text{п}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{н}k}, \\ \quad \text{М} \\ P_{II}^{n_1-1} = \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{л}l}) \omega_{\text{л}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{т}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{пр}}} \omega_{\text{п}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{н}k}, \end{array} \right.$$

где $l = 1, 2, 3, \dots, n_1 - 1$.

Расчет параметров $P_{III}^1, P_{III}^2, \dots, P_{III}^{m_1-1}$ осуществляется в блоке 9 с использованием системы уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{III}^1 = \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{л}k} \cdot (1 - d_{\text{т}l}) \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{т}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{пр}}} \omega_{\text{п}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{н}k}, \\ P_{III}^2 = \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{л}k} \cdot (1 - d_{\text{т}l})(1 - d_{\text{т}l}) \prod_{k \in M_{\text{тр}}} d_{\text{т}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{пр}}} \omega_{\text{п}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{н}k}, \\ \quad \text{М} \\ P_{III}^{m_1-1} = \prod_{k \in M_{\text{лр}}} \omega_{\text{л}k} \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{т}l}) d_{\text{т}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{пр}}} \omega_{\text{п}k} \cdot \prod_{k \in M_{\text{нр}}} \omega_{\text{н}k}, \end{array} \right.$$

где $l = 1, 2, 3, \dots, m_1 - 1$.

Нахождение характеристик $P_{IV}^1, P_{IV}^2, \dots, P_{IV}^{n_3-1}$ ведется в блоке 10 на основе системы формул

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{IV}^1 = \prod_{k \in M_{лр}} \omega_{лк} \cdot \prod_{k \in M_{тр}} d_{тк} \cdot (1 - \omega_{пл}) \prod_{k \in M_{пр}} \omega_{пк} \cdot \prod_{k \in M_{нр}} \omega_{нк}, \\ P_{IV}^2 = \prod_{k \in M_{лр}} \omega_{лк} \cdot \prod_{k \in M_{тр}} d_{тк} \cdot (1 - \omega_{пл})(1 - \omega_{пл}) \prod_{k \in M_{пр}} \omega_{пк} \cdot \prod_{k \in M_{нр}} \omega_{нк}, \\ \quad \quad \quad \text{М} \\ P_{IV}^{n_3-1} = \prod_{k \in M_{лр}} \omega_{лк} \cdot \prod_{k \in M_{тр}} d_{тк} \cdot \prod_{l \in M_{пн}} (1 - \omega_{пл}) \omega_{пк} \cdot \prod_{k \in M_{нр}} \omega_{нк}, \end{array} \right.$$

где $l = 1, 2, 3, \dots, n_3 - 1$.

В блоке 11 осуществляется расчет параметров $P_V^1, P_V^2, \dots, P_V^{n_2-1}$ на основе системы уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} P_V^1 = \prod_{k \in M_{лр}} \omega_{лк} \cdot \prod_{k \in M_{тр}} d_{тк} \cdot \prod_{k \in M_{пр}} \omega_{пк} \cdot (1 - \omega_{нл}) \prod_{k \in M_{нр}} \omega_{нк}, \\ P_V^2 = \prod_{k \in M_{лр}} \omega_{лк} \cdot \prod_{k \in M_{тр}} d_{тк} \cdot \prod_{k \in M_{пр}} \omega_{пк} \cdot (1 - \omega_{нл})(1 - \omega_{нл}) \prod_{k \in M_{нр}} \omega_{нк}, \\ \quad \quad \quad \text{М} \\ P_V^{n_2-1} = \prod_{k \in M_{лр}} \omega_{лк} \cdot \prod_{k \in M_{тр}} d_{тк} \cdot \prod_{k \in M_{пр}} \omega_{пк} \cdot \prod_{l \in M_{нн}} (1 - \omega_{нл}) \omega_{нк}, \end{array} \right.$$

где $l = 1, 2, 3, \dots, n_2 - 1$.

В блоке 12 определяются характеристики $P_{VI}^1, P_{VI}^2, \dots, P_{VI}^{n_1-1}$ с использованием системы формул

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{VI}^1 = \omega_{лк} \prod_{l \in M_{лн}} (1 - \omega_{лl}) \cdot \prod_{l \in M_{тн}} (1 - d_{тl}) \cdot \prod_{l \in M_{пн}} (1 - \omega_{пл}) \cdot \prod_{l \in M_{нн}} (1 - \omega_{нл}), \\ P_{VI}^2 = \omega_{лк} \omega_{лк} \prod_{l \in M_{лн}} (1 - \omega_{лl}) \cdot \prod_{l \in M_{тн}} (1 - d_{тl}) \cdot \prod_{l \in M_{пн}} (1 - \omega_{пл}) \cdot \prod_{l \in M_{нн}} (1 - \omega_{нл}), \\ \quad \quad \quad \text{М} \\ P_{VI}^{n_1-1} = \prod_{k \in M_{лр}} \omega_{лк} (1 - \omega_{лl}) \cdot \prod_{l \in M_{тн}} (1 - d_{тl}) \cdot \prod_{l \in M_{пн}} (1 - \omega_{пл}) \cdot \prod_{l \in M_{нн}} (1 - \omega_{нл}), \end{array} \right.$$

где $l = 1, 2, 3, \dots, n_1 - 1$ при расчете по $\omega_{\text{г}}$.

В блоке 13 оценивается ЛС по параметрам $P_{VII}^1, P_{VII}^2, \dots, P_{VII}^{m-1}$ на основе системы уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{VII}^1 = \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{ѳі}l}) \cdot d_{\text{ѳк}} \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - d_{\text{ѳл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{і}l}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{і}l}), \\ P_{VII}^2 = \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{ѳі}l}) \cdot d_{\text{ѳк}} d_{\text{ѳк}} \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - d_{\text{ѳл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{і}l}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{і}l}), \\ \text{М} \\ P_{VII}^{m_1-1} = \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{ѳі}l}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{ѳѳ}}} d_{\text{ѳк}} (1 - d_{\text{ѳл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{і}l}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{і}l}), \end{array} \right.$$

где $l = 1, 2, 3, \dots, m_1 - 1$ при определении произведения по $d_{\text{т}}$.

В блоке 14 рассчитываются характеристики $P_{VIII}^1, P_{VIII}^2, \dots, P_{VIII}^{n_2-1}$ из системы формул

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{VIII}^1 = \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{ѳі}l}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - d_{\text{ѳл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{і}l}) \cdot \omega_{\text{і}k} \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{і}l}), \\ P_{VIII}^2 = \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{ѳі}l}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - d_{\text{ѳл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{і}l}) \cdot \omega_{\text{і}k} \omega_{\text{і}k} \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{і}l}), \\ \text{М} \\ P_{VIII}^{n_2-1} = \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{ѳі}l}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - d_{\text{ѳл}}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{ѳі}}} (1 - \omega_{\text{і}l}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{ѳѳ}}} \omega_{\text{і}k} (1 - \omega_{\text{і}l}), \end{array} \right.$$

где $l = 1, 2, 3, \dots, n_2 - 1$ при определении произведения по $\omega_{\text{і}}$.

В блоке 15 устанавливаются параметры $P_{IX}^1, P_{IX}^2, \dots, P_{IX}^{n_3-1}$ с использованием системы уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{IX}^1 = \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{л}l}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{т}l}) \cdot \omega_{\text{пк}} \prod_{l \in M_{\text{пн}}} (1 - \omega_{\text{п}l}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{пн}}} (1 - \omega_{\text{н}l}), \\ P_{IX}^2 = \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{л}l}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{т}l}) \cdot \omega_{\text{пк}} \omega_{\text{пк}} \prod_{l \in M_{\text{пн}}} (1 - \omega_{\text{п}l}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{пн}}} (1 - \omega_{\text{н}l}), \\ \text{М} \\ P_{IX}^{n_1-1} = \prod_{l \in M_{\text{лн}}} (1 - \omega_{\text{л}l}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{тн}}} (1 - d_{\text{т}l}) \cdot \prod_{k \in M_{\text{пр}}} \omega_{\text{пк}} (1 - \omega_{\text{п}l}) \cdot \prod_{l \in M_{\text{пн}}} (1 - \omega_{\text{н}l}), \end{array} \right.$$

где $l = 1, 2, 3, \dots, n_1 - 1$ при определении произведения по $\omega_{\text{і}}$.

Изложенные алгоритмы обеспечивают расчет вероятностей состояний четырех наиболее распространенных в РФ и РБ структур ЛС с учетом работы либо простоя мастерских участков по заготовке древесины, ее транспортировке и переработке на нижних складах.

По остальным редко встречаемым структурам алгоритмы строятся аналогично системам, приведенным в разделе 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учетом научных разработок В. И. Алябьева, Д. К. Воеводы, Н. П. Вырко, Б. Г. Залегаллера, Л. И. Лавочкина, И. И. Леоновича, А. А. Пижурина, А. К. Редькина, А. С. Федоренчика и других исследователей лесопромышленные предприятия представляют собой специфические системы, которые функционируют в различных природно- производственных условиях. С учетом многофакторности работы лесопромышленных предприятий очевидна невозможность всеобщей формализации и моделирования их работы в полном объеме.

Результатом большого списка целей в функционировании лесопромышленных предприятий является многокритериальность в проектировании, создании, организации и управлении работой подобными предприятиями.

Проблемы, которые необходимо решить при проектировании и функционировании лесопромышленных предприятий, характеризуются источниками их появлений, зачастую ошибочными.

Сюда следует отнести неверно принятые раньше решения по организации, функционированию, оснащению и направленности деятельности лесопромышленных предприятий.

В большинстве случаев ошибочно выбираются временные интервалы для реализации принятых решений.

Изменяется также представление о желаемом состоянии и работоспособности лесопромышленных предприятий. Это зависит, в первую очередь, от изменения природных и внешних экономических факторов, так как они наиболее сильно влияют на функционирование предприятий.

Проблема создания эффективных ЛС должна решаться с учетом реальности ограничений двух видов:

1) глубины современных методов решения поставленных проблем по функциональным задачам ЛС и по их структурам;

2) возможных технологических, технических решений и методов управления, с помощью которых предполагается создавать эффективные ЛС, включая лесные, материальные, финансовые, интеллектуальные и другие ресурсы.

Целесообразно исследовать структуры ЛС на первом этапе их анализа посредством методов теории графов и вероятностей состояний сложных систем, так как процессы, происходящие в них, являются стохастическими в отношении потоков предметов труда

(деревья, хлысты, сортименты и пакеты из них) и отказов оборудования, которое их обрабатывает.

Изложенные в данной монографии практические рекомендации по рационализации структур ЛС являются основанием для принятия окончательных решений с учетом территориальных, природно-производственных, финансовых, экологических, социальных и других факторов.

Для лесного комплекса Республики Беларусь и европейской части Российской Федерации рациональной считается структура из 3–4 мастерских участков по заготовке древесины с вывозкой ее на один нижний склад. Заболоченность (снижение несущей способности грунтов) приводит к усложнению структур ЛС до 4–6 мастерских участков и к вывозке древесины на два нижних склада.

Сложность структур ЛС, т. е. увеличение количества мастерских участков по заготовке древесины и нижних лесных складов, возрастает с уменьшением доли хвойных насаждений в структуре древостоев. Структуры ЛС не чувствительны к такому фактору, как запас деревьев на 1 га.

Разработка и поиск рациональных структур лесопромышленных предприятий являются важным аспектом в их эффективном функционировании. Как показывает анализ работы предприятий, лишние звенья в производственном процессе отрицательно влияют на результат работы. Это заключается в дополнительных затратах и управленческих решениях, которые искажают реальную информацию о производстве.

Следует отметить, что принятие рациональных решений практически не требует дополнительных финансовых затрат для совершенствования производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев, В. Н. Принятие оптимальных решений: теория и применение в лесном комплексе / В. Н. Андреев, Ю. Ю. Герасимов. – Йоэсу: Изд-во университета Йоэсу, 1999. – 200 с.
2. Алябьев, В. И. Оптимизация производственных процессов на лесозаготовках / В. И. Алябьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 198 с.
3. Сухопутный транспорт леса / В. И. Алябьев [и др.]. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 416 с.
4. Барановский, В. А. Системы машин для лесозаготовок / В. А. Барановский, Р. М. Некрасов. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 205 с.
5. Бигль, Д. Управление производством / Дис Бигль. – М.: Мир, 1973. – 304 с.
6. Будыка, С. Х. Работоспособность лесозаготовительных систем с промплощадками / С. Х. Будыка, И. В. Турлай // Доклады АН БССР. – 1981. – № 12. – С. 1092–1096.
7. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1968. – 356 с.
8. Брейтер, В. С. Оценка совместного воздействия природно-производственных факторов на работу лесозаготовительных машин / В. С. Брейтер, Б. М. Большаков, Г. П. Долговых. – Химки: ЦНИИМЭ, 1977. – 47 с.
9. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
10. Вентцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М.: Высш. шк., 2001. – 208 с.
11. Вороницын, К. И. Математические методы исследования и выбора оптимальных параметров системы лесосечных машин / К. И. Вороницын, В. З. Габриэль, Н. И. Гедз // Труды ЦНИИМЭ. – Химки, 1975. – № 144. – С. 15–19.
12. Вырко, М. П. Сухопутный транспорт лесу / М. П. Вырко. – Минск: БДТУ, 2003. – 493 с.
13. Митропольский, А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. – М.: Наука, 1971. – 403 с.
14. Смирнов, Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – М.: Наука, 1965. – 365 с.
15. Советов, Б. Я. Информационная технология / Б. Я. Советов. – М.: Высш. шк., 1994. – 368 с.

16. Турлай, И. В. Исследование структур лесозаготовительных систем / И. В. Турлай // Изв. высш. учеб. зав. Лесной журнал. – 1980. – № 1. – С. 95–97.
17. Турлай, И. В. Исследование работоспособности больших лесозаготовительных систем / И. В. Турлай // Изв. высш. учеб. зав. Лесной журнал. – 1981. – № 6. – С. 94–96.
18. Турлай, И. В. Алгоритм расчета работоспособности лесозаготовительных систем / И. В. Турлай // Доклады АН БССР. – 1986. – № 3. – С. 34–37.
19. Турлай, И. В. Технология и машины для освоения лесов в зонах радиоактивного загрязнения: учеб. пособие / И. В. Турлай, Г. А. Чернушевич, В. А. Добровольский. – Минск: БГТУ, 2004. – 70 с.
20. Турлай, И. В. Функционирование комплексов по выпуску лесопроductии в лесах, загрязненных радионуклидами / И. В. Турлай, В. А. Добровольский, Г. А. Чернушевич // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2002. – Вып. X. – С. 69–71.
21. Турлай, И. В. Результаты внедрения лесопромышленных комплексов по заготовке и обработке древесины в лесах, загрязненных радионуклидами / И. В. Турлай, Г. А. Чернушевич, В. А. Добровольский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2004. – Вып. XII. – С. 54–56.
22. Редькин, А. К. Основы моделирования и оптимизации лесозаготовок / А. К. Редькин. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 256 с.
23. Чернушевич, Г. А. Исследование возможности использования древесного сырья, загрязненного радионуклидами, для изготовления лесопроductии / Г. А. Чернушевич, В. В. Перетрухин, И. В. Турлай // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2006. – Вып. XIV. – С. 268–270.
24. Чуев, Ю. В. Технические задачи исследования операций / Ю. В. Чуев, Г. П. Смехова. – М.: Советское радио, 1971. – 242 с.
25. Юдин, Д. Б. Математические методы управления в условиях неполной информации / Д. Б. Юдин. – М.: Советское радио, 1974. – 463 с.
26. Якимович, С. Б. Информационное обеспечение в лесном комплексе / С. Б. Якимович, А. К. Редькин, В. Е. Степанов. – М.: МГУЛ, 2002. – 207 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Лесопромышленные предприятия как системы	5
1.1. Признаки лесопромышленных систем	5
1.2. Свойства лесопромышленных систем	8
1.2.1. Целостность лесопромышленных систем	8
1.2.2. Функции лесопромышленных систем	8
1.2.3. Цель лесопромышленных систем	9
1.2.4. Стабильность лесопромышленных систем	10
1.3. Методология исследования лесопромышленных систем ...	10
1.4. Классификация лесопромышленных систем	14
1.5. Структура лесопромышленных систем вида I	15
1.6. Структура лесопромышленных систем вида II	16
1.7. Структура лесопромышленных систем вида III	17
1.8. Структура лесопромышленных систем вида IV	18
1.9. Структура лесопромышленных систем вида V	20
1.10. Структура лесопромышленных систем вида VI	21
1.11. Структура лесопромышленных систем вида VII	22
1.12. Структура лесопромышленных систем вида VIII	24
1.13. Общие структуры лесопромышленных систем	24
2. Основы математического моделирования лесопромышленных систем	27
2.1. Формализация лесопромышленных систем	27
2.2. Работоспособность лесопромышленных систем вида I	37
2.3. Работоспособность лесопромышленных систем вида II	49
2.4. Работоспособность лесопромышленных систем вида III ...	54
2.5. Работоспособность лесопромышленных систем вида IV ...	63
2.6. Работоспособность лесопромышленных систем вида V ...	71
2.7. Работоспособность лесопромышленных систем вида VI ...	73
3. Оценка и выбор рациональных структур лесопромышленных систем	78
3.1. Живучесть лесопромышленных систем и их структур	78
3.2. Характеристики живучести лесопромышленных систем ...	80
4. Характеристика работоспособности производственных участков, входящих в лесопромышленные системы	87
.....	87

4.1. Выбор лесопромышленных систем и условия их функционирования	87
4.2. Количественное определение показателей работоспособности	90
4.3. Работоспособность участков, эксплуатирующих трелевочные тракторы ТДТ-55	92
4.4. Работоспособность лесосечных участков, эксплуатирующих тракторы ЛТ-171	95
4.5. Работоспособность лесосечных участков, эксплуатирующих бесчokerные тракторы МЛ-127 и чокерные тракторы ТТ-4	99
4.6. Работоспособность транспортных связей лесопромышленных систем	103
5. Структуры существующих лесопромышленных систем	113
5.1. Основные положения	113
5.2. Условия функционирования лесопромышленных систем европейской части Российской Федерации и Республики Беларусь	113
5.3. Типы структур лесопромышленных систем и их распределение для европейской части Российской Федерации и Республики Беларусь	115
5.4. Зависимость структур лесопромышленных систем от основных природно-производственных факторов для европейской части Российской Федерации и Республики Беларусь	116
5.5. Условия функционирования лесопромышленных систем Урала и Сибири	122
5.6. Типы структур лесопромышленных систем и их распределения для Урала и Сибири	123
5.7. Зависимость структур лесопромышленных систем Республики Беларусь от основных природно-производственных факторов	125

6. Автоматизированный расчет работоспособности лесопромышленных систем.	131
6.1. Расчет работоспособности лесопромышленных систем видов I и II ..	131
6.2. Расчет работоспособности лесопромышленных систем вида III ..	134
6.3. Расчет работоспособности лесопромышленных систем вида IV ..	136
Заключение	141
Литература	143